

創新建材防火及煙毒性能研究(1/2)

內政部建築研究所研究報告

094301070000G3035

「創新建材防火及煙毒性能研究(1/2)」

研究主持人：丁育群

協同主持人：陳俊勳、嚴定萍

顧 問：蕭江碧

研究人員：蔡銘儒、李其忠

內政部建築研究所研究報告

中華民國 94 年 12 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The combustibility and toxicity research of new
and innovative building materials(1/2)

BY

Yuh Chyurn Ding

Chiun Hsun Chen

Ding Ping Yen

Chiang Pi Hsiao

Ming Ju Tsai

Chi Chung Lee

December, 2005

目次

表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	IX
英文摘要.....	X
第一章 諸論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 文獻回顧.....	6
第三節 本文架構.....	8
第二章 實驗設備及測試程序.....	9
第一節 整體測試系統的架構	9
第二節 設備簡介：單材耐燃測試儀(SBI)	9
第三節 設備簡介：圓錐量熱儀(CONE)	14
第四節 各項校正.....	16
第五節 工研院與建研所之圓錐量熱儀之差異	17
第三章 結果與討論	34
第一節 單材耐燃測試儀之實驗結果	35
第二節 工業技術研究院(工研院)圓錐量熱儀之實驗結果	43
第三節 內政部建築研究所(建研所)與工研院圓錐量熱儀水平擺 設之實驗結果比對分析	51
第四節 單材耐燃測試儀及圓錐量熱儀之實驗結果分析及探討	54
第四章 結論與建議	98
附錄一 執行情形回覆表.....	101
附件二 SBI規範草稿內容.....	106
附錄三 實驗材料之廠商名錄.....	117

附件四 煙毒性相關規範比較表.....	118
參考書目.....	119

表次

表 1-1、建築材料(不含地板)遇火反應之分類【5】	3
表 1-2、建築地板遇火反應之分類【5】	5
表 1-3、符號表	6
表 3-1、試體主要組成成份	34
表 3-2、材料之相對熱釋放率峰值比較表	37
表 3-3、材料之總熱釋放量(THR)峰值.....	38
表 3-4、材料之火災成長率峰值	39
表 3-5、材料之總熱釋放量(THR _{600s}).....	39
表 3-6、材料之火災成長率	40
表 3-7、材料之煙生成率(m ² /s)峰值	41
表 3-8、材料之總煙產生量(TSP ₆₀₀)	42
表 3-9、材料之煙成長率(SMOGRA)	43
表 3-10、日本現行之分類標準	44
表 3-11、圓錐量熱儀之試驗結果-垂直擺設(CONE2)	45
表 3-12、圓錐量熱儀之試驗結果-水平擺設(CONE2)	47
表 3-13、圓錐量熱儀-垂直擺設(CONE2)之火災成長率	49
表 3-14、圓錐量熱儀-水平擺設(CONE2)之火災成長率	50
表 3-15、建研所圓錐量熱儀之實驗結果(CONE3).....	52
表 3-16、SBI 與 CONE-垂直擺放之試驗結果等級分類	55
表 3-17、SBI 與 CONE-水平擺放之試驗結果等級分類	55

圖次

圖 2-1、SBI 之整體實驗概圖.....	18
圖 2-2、SBI 之整體實驗示意圖.....	19
圖 2-3、SBI 之排煙管道概圖.....	20
圖 2-4、SBI 之樣品與推車.....	21
圖 2-5、SBI 之外觀尺寸圖.....	22
圖 2-6、SBI 之集煙罩的尺寸圖.....	23
圖 2-7、SBI 之集煙管的尺寸圖.....	24
圖 2-8、SBI 之主燃燒器與輔助燃燒器之相對位置圖	25
圖 2-9、SBI 之樣品與背板的相對位置圖	26
圖 2-10、SBI 之量測儀器的相對位置圖	27
圖 2-11、圓錐量熱儀(CONE)之整體試驗設備圖.....	28
圖 2-12、CONE 之圓錐輻射電熱器	29
圖 2-13、CONE 之試體承盤	30
圖 2-14、CONE 之風扇進口風道	31
圖 2-15、CONE 之氣體取樣設備	32
圖 2-16、工研院之圓錐量熱儀(CONE)之外觀圖.....	33
圖 2-17、建研所之圓錐量熱儀(CONE)之外觀圖.....	33
圖 3-1(a)、第一組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果.....	56
圖 3-1(b)、第二組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果.....	56
圖 3-1(c)、第三組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果	57
圖 3-2(a)、第一組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果.....	57
圖 3-2(b)、第二組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果.....	58
圖 3-2(c)、第三組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果	58
圖 3-3(a)、第一組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果	59
圖 3-3(b)、第二組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果	

.....	59
圖 3-3(c)、第三組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果	60
.....	60
圖 3-4(a)、第一組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果	61
圖 3-4(b)、第二組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果	61
圖 3-4(c)、第三組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果	61
圖 3-5(a)、第一組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果	62
圖 3-5(b)、第二組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果	62
圖 3-5(c)、第三組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果	63
圖 3-6(a)、第一組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	63
圖 3-6(b)、第二組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	64
圖 3-6(c)、第三組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	64
圖 3-7(a)、第一組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	65
圖 3-7(b)、第二組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	65
圖 3-7(c)、第三組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果	66
圖 3-8、纖維水泥板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	66
.....	66
圖 3-9、矽酸鈣板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	67
.....	67
圖 3-10、陶板上奈米 TiO_2 之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	67
.....	67
圖 3-11、氧化鎂板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	68
.....	68
圖 3-12、岩棉板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	68
圖 3-13、14.5 mm 之合板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	69
.....	69
圖 3-14、3.6 mm 之合板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	

係圖	69
圖 3-15、陶板上奈米紅外線之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	70
圖 3-16、陶板上奈米負離子之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	70
圖 3-17、玻璃纖維板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	71
圖 3-18、石膏板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	71
圖 3-19、南美紫檀地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	72
圖 3-20、海鳥型南美紫檀地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	72
圖 3-21、緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	73
圖 3-22、海鳥型緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖	73
圖 3-23、纖維水泥板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	74
圖 3-24、矽酸鈣板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	74
圖 3-25、陶板塗奈米 TiO_2 之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	75
圖 3-26、氧化鎂板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	75
圖 3-27、岩棉板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	76
圖 3-28、14.5 mm 合板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	76

圖 3-29、3.6 mm 合板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	77
圖 3-30、陶板塗奈米遠紅外線之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	77
圖 3-31、奈米陶板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	78
圖 3-32、玻璃纖維板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	78
圖 3-33、石膏板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	79
圖 3-34、南美紫檀地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率	79
圖 3-35、海島型南美紫檀地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率	80
圖 3-36、緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖	80
圖 3-37、海島型緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率	81
圖 3-38(a)、圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放垂直擺設與水平擺設	81
圖 3-38(b)、圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放垂直擺設與水平擺設	82
圖 3-39、圓錐量熱儀之火災成長率垂直擺設與水平擺設.....	82
圖 3-40、建研所之圓錐量熱儀與工研院圓錐量熱儀之熱釋放率峰值之關係圖	83
圖 3-41、建研所之圓錐量熱儀與工研院圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放率之關係圖	83
圖 3-42、PMMA 熱釋放率與時間之關係圖	84
圖 3-43、海島型南美紫檀熱釋放率與時間之關係圖	84
圖 3-44、工研院與建研所之引燃時間關係圖	85
圖 3-45、纖維水泥板之煙產生與時間之關係圖	85
圖 3-46、矽酸鈣板之煙產生率與時間之關係圖	86
圖 3-47、陶板塗附奈米 TiO_2 之煙產生率與時間之關係圖	86

圖 3-48、氧化鎂板之煙產生率與時間之關係圖	87
圖 3-49、岩棉板之煙產生率與時間之關係圖	87
圖 3-50、14.5mm 合板之煙產生率與時間之關係圖	88
圖 3-51、3.6mm 合板之煙產生率與時間之關係圖	88
圖 3-52、陶板塗附奈米紅外線與時間之關係圖	89
圖 3-53、陶板塗附奈米負離子與時間之關係圖	89
圖 3-54、玻璃纖維板之煙產生率與時間之關係圖	90
圖 3-55、石膏板之煙產生率與時間之關係圖	90
圖 3-56、南美紫檀地板之煙產生率與時間之關係圖	91
圖 3-57、海島型南美紫檀地板之煙產生率與時間之關係圖	91
圖 3-58、緬甸柚木地板之煙產生率與時間之關係圖	92
圖 3-59、海島型緬甸柚木地板之煙產生率與時間之關係圖	92
圖 3-60(a)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 垂直擺設熱釋放率峰值之關係圖	93
圖 3-60(b)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 垂直擺設熱釋放率峰值之關係圖	93
圖 3-61(a)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 水平擺設熱釋放率峰值之關係圖	94
圖 3-61(b)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 水平擺設熱釋放率峰值之關係圖	94
圖 3-62(a)、SBI 之火災成長率與 CONE 垂直火災成長率之關係圖	95
圖 3-62(b)、SBI 之火災成長率與 CONE 垂直火災成長率之關係圖	95
圖 3-63(a)、SBI 之火災成長率與 CONE-水平擺設之火災成長率之關係圖	96
圖 3-63(b)、SBI 之火災成長率與 CONE-水平擺設之火災成長率之關係圖	96
圖 3-64、SBI 與 CONE 煙產生率之關係圖	97

摘要

關鍵字：單材耐燃測試儀、圓錐量熱儀、熱釋放率、煙產生率、火災成長率

本研究主要是針對 7 種中尺寸及 15 種小尺寸的創新建材進行單材耐燃測試儀(SBI)及圓錐量熱儀(CONE)之實驗，觀察其遇火反應如：熱釋放率、煙產生率、火災成長率等燃燒性質。在 CONE 之實驗中分別以相同 15 種材料於建研所與工研院進行小尺寸實驗，來探討機台對於實驗結果的影響，作為 Round Rubin 測試計畫的雛型，並在工研院之 CONE 機台實驗中加以討論擺放方式不同對於其熱釋放率的影響；接著對 7 種相同材料於小尺寸 CONE 及中尺寸 SBI 之實驗結果之相關性做進一步的比對。最後再以歐盟對 SBI 分級標準及日本現行對 CONE 的分級標準進行比對來觀察其相關性。

從實驗結果中發現 7 種 SBI 實驗材料中除 3.6 mm 合板外，其餘的總熱釋放量、火災成長率、煙產生量及火焰微粒之結果均符合 SBI 測試的最高等級，即歐盟對建築構造物 A2/B 級；但 3.6 mm 合板仍符合 C 級。

在圓錐量熱儀之實驗中發現，可燃材質之試體擺設方式不同會影響其點燃時間及熱釋放率，而且水平擺放之熱釋放率值有高於垂直擺放之趨勢；在不可燃之試體則影響不大。而利用相同材料分別於建研所與工研院進行圓錐量熱儀的實驗，發現材料 180 秒平均熱釋放率的再現性相當的高，其相關係數 $R^2 = 0.903$ 。

單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀-垂直之關聯性 R^2 為 0.730 左右；而單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀-水平擺設之關聯性 R^2 為 0.844 左右，此實驗結果意味著材料在單材耐燃測試儀的燃燒情況，是比較類似於圓錐量熱儀-水平擺設。藉由實驗數據之分析，發現 SBI 所量測到的火災成長率與利用 CONE 熱釋放率峰值所預測的火災成長率（Tsantaridis 與 Ostman 【12】）的相關係比很高，其 R^2 為 0.98 左右。

ABSTRACT

Key words: Single Burning Item (SBI), Cone Calorimeter (Cone), Heat Release Rate, Smoke Production Rate, FIGRA.

In this study, 7 medium- and 15 bench-size materials of new and innovative building materials were tested by using the Single Burning Item (SBI) and Cone Calorimeter (CONE) apparatuses, respectively. The experimental parameters measured include heat release rate (HRR), smoke production rate (SPR), and fire growth rate (FIGRA). The same 15 materials were tested by CONEs located at Fire Research Laboratory of Architecture and Building Research Institute (ABRI) and Combustion Laboratory of Industrial Technology Research Institute (ITRI), seoparately. It is served as the prototype of Round Rubin Test in addition to the influence of testing material orientation (vertical and horizontal) on its reaction-to-fire. After that, 7 materials are selected to test by using SBI in order to find the correlation between the fire performance data obtained from Cone and SBI. So does the correlation in Euroclass and Japan ranking systems.

From the SBI tested results including the total heat release, FIGRA, SPR and flaming particles, 6 materials were categorized as the class of A2/B in Euroclass system classes except for the 3.6mm plywood. However, the 3.6mm plywood was still corresponding to class C.

From the CONE tested results, they showed that the different orientations of combustible material will affect the ignition time and HRR, and the HRR in horizontal orientation appears higher than that in veryical one. On the other hand, the corresponding influence was insignificant for noncombustible materials. The reproducibility of test results between the two laboratories at ABRI and ITRI was found pretty well for the Cone data, whose square of the correlation $R^2=0.903$ for the average HRRs in

the period of 180 seconds for the 15 same materials.

The correlation between SBI and CONE at vertical orientation is $R^2 = 0.730$ whereas the corresponding one between SBI and CONE at horizontal orientation is $R^2 = 0.844$ for SBI and CONE at horizontal orientation. It indicates that the burning results at CONE test at horizontal orientation are more similar to that in SBI test. Via the analyses of the measured data, it found that the correlation between FIGRAs, obtained from SBI measurement and from the predicted value by using the measured peak of HRR of CONE on the same material, is quite good, $R^2 = 0.98$.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

現今的建築材料種類繁多，而且火災防護性能效果不一，由於建築材料的防火性能會直接影響內部人員的安全，一旦著火，其衍生的火災及煙毒會造成直接或二次的傷害，所以在 90 年代初期時，歐盟在建築材料防火測試方面，原本是規劃在小尺寸方面採用圓錐量熱儀(ISO 5660)【1】，在大尺寸方面採用火災房間測試(ISO 9705)【2】，但經數年的研究發現，兩者所獲得之測試數據，似乎很難有一致性的量化標準，當然火災房間的測試較能展現出材料在火場中遇火反應(Reaction-to-Fire)的行為，但測試不但耗時而且耗費也很龐大，對於新材料的發展不甚有利，因此中型尺寸的測試方法在歐盟標準委員會中間始進行研發，其名稱即所謂之單材耐燃測試儀(Single Burning Item；SBI)測試，並與在 2002 年二月十三號正式公告實施，目前在歐盟會員國所販賣之建築材料除防火門外，均須通過單材耐燃測試的驗證。

Single Burning Item (SBI) 單材耐燃測試儀測試【3】，是由歐盟所發展出的一套新的材料防火測試方法，此測試方法可用於除了樓地板材料以外的建築材料，並且予以區分等級。它結合了小尺寸圓錐量熱儀測試(ISO 5660)【1】及大尺寸火災房間測試(ISO 9705)【2】的優點，具有快速進行實驗、操作簡便及節省成本等優點，而其測試樣品尺寸介於小尺寸與大尺寸之間，為中型尺寸的測試方法。在歐盟中，將建築物材料的防火性能區分為六個等級，由 A 到 F，其中 A 的等級最高、防火性能最好，屬於不燃材料；而 F 的等級最低、防火性能最差。建築材料(不含地板)遇火反應之分類如表 1-1 所示，建築地板遇火反應之分類如表 1-2 所示(表 1-3 為表 1-1 及表 1-2 所使用的符號含意)，此即為所謂的”Euroclass”【4、5】。其測試方法依此可以分為四種，其中不燃材料爐(Non-combustibility furnace test；等同於我國的基材試驗爐(CNS 6532))係用於不燃材料類的測試，通過者即

為 A 級材料；另一種簡單的引燃試驗，其受測材料係垂直擺放，此測試方法則用於評定 E 和 F 等級的材料；而 B、C 和 D 三個等級的材料測試則使用 SBI 單材耐燃測試儀來評定，所以 SBI 的使用範圍相當的廣泛。SBI 是一個中型尺寸的測試儀器，其主結構類似於 ISO 9705 【2】，配置有集煙系統，該集煙系統的集煙罩連接有排煙管道用來量測燃燒產物的溫度、速度、氧濃度和煙濃度，其目的用以獲得相關的熱釋放率和煙遮蔽率的數據資料。SBI 測試方法可以量測的數據包括有：引燃時間、熱釋放、火焰延燒率、煙產生率及火焰微粒。現將目前以圓錐量熱儀、單材耐燃測試儀與火災房間測試之分級標準整理如下表：

測試儀器	分類標準
圓錐量熱儀 (Cone Calorimeter)	加拿大 CAN/ULC S 135-1992 中華民國 CNS 14705 日本建築基準法第一條第 5 號 日本建築基準法第一條第 6 號 日本建築基準法第二條第九號
單材耐燃測試儀(SBI)	歐盟 EN13823
火災房間測試 (ISO9705)	挪威 NS 3919

表 1-1、建築材料(不含地板)遇火反應之分類【5】

分類等級	測試方法	測試標準	性能分類標準	另外分類標準
A1	不燃材料爐 (等同我國基 材試驗爐) & 單材耐燃測試 (中尺寸測試 方法)	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ ; <i>and</i>	$\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f = 0$ (亦即沒有持續的火焰)	
		EN ISO 1716	PCS ≤ 2.0 MJ/kg(1) PCS ≤ 2.0 MJ/kg(2) (2a) PCS ≤ 1.4 MJ/m ² (3) PCS ≤ 2.0 MJ/kg(4)	
A2	不燃材料爐 (等同我國基 材試驗爐) & 單材耐燃測試 (中尺寸測試 方法)	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ ; or	$\Delta T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 20\text{ s}$	煙產生 ⁽⁵⁾ 火焰微粒 ⁽⁶⁾
		EN ISO 1716 ; <i>and</i>	PCS ≤ 3.0 MJ/kg(1) PCS ≤ 4.0 MJ/m ² (2) PCS ≤ 4.0 MJ/m ² (3) PCS ≤ 3.0 MJ/kg(4)	
		EN 13823 (SBI)	FIGRA ≤ 120 W/s LFS < 樣品邊界 THR _{600s} ≤ 7.5 MJ	
B	單材耐燃測試 (中尺寸測試 方法)	EN 13823 (SBI); <i>and</i>	FIGRA ≤ 120 W/s LFS < 樣品邊界 THR _{600s} ≤ 7.5 MJ	煙產生 ⁽⁵⁾ 火焰微粒 ⁽⁶⁾
		EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ ; Exposure = 30 s	在60秒內Fs ≤ 150 mm	
C	單材耐燃測試 (中尺寸測試 方法)	EN 13823 (SBI); <i>and</i>	FIGRA ≤ 250 W/s LFS < 樣品邊界 THR _{600s} ≤ 15 MJ	煙產生 ⁽⁵⁾ 火焰微粒 ⁽⁶⁾
		EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ ; Exposure = 30 s	在60秒內Fs ≤ 150 mm	

D	單材耐燃測試 (中尺寸測試 方法)	EN 13823 (SBI); <i>and</i>	FIGRA ≤ 750 W/s	煙產生 ⁽⁵⁾ 火焰微粒 ⁽⁶⁾
		EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ : Exposure = 30 s	在60秒內Fs ≤ 150 mm	
E	引燃試驗(等 同我國垂直試 片引燃儀)	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ : Exposure = 15 s	在20秒內Fs ≤ 150 mm	火焰微粒 ⁽⁷⁾
F	引燃試驗(等 同我國垂直 試片引燃儀)	沒有性能限定		

在歐盟，建築物材料防火性能測試等級依 Euroclass 分為六級 A~F，針對均質產品和非均質產品中堅固的成分：

1. 針對均質產品和非均質產品中堅固的成分。
2. 針對任何非均質產品外部的非堅固成分。
- 2a. 任何非均質產品外部的非堅固成分有 $PCS \leq 2.0 \text{ MJ/m}^2$ ，假如此產品滿足下列 EN 13823 (SBI) 規範：FIGRA ≤ 20 W/s，且 LFS < 樣品邊界；且 $THR_{600s} \leq 4.0 \text{ MJ}$ ；且 s1 和 d0。
3. 針對任何非均質產品內部非堅固成分。
4. 針對產品整體。
5. $s1 = SMOGRA \leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 且 $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$ ； $s2 = SMOGRA \leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 且 $TSP_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$ ；s3=s1 或 s2 以外。
6. d0=在 600 秒內 EN 13823 (SBI) 測試中沒有火焰微粒；d1=在 600 秒內 EN 13823 (SBI) 測試中沒有火焰微粒持續出現超過 10 秒；d2=d0 或 d1 以外；在 EN ISO 11925-2 的標準中引燃紙張的等級為 d2 級。
7. 通過=沒有引燃紙張（沒有分類）；失敗=引燃紙張（d2 等級）上述條件在表面火焰開始時且假如使用適當的產品，只會在邊緣有火焰產生。
8. 在上述表面火焰侵襲的條件下，且如果最終應用適當的產品與邊界火焰侵襲

表 1-2、建築地板遇火反應之分類【5】

分類	測試標準	分類依據	
A1 _{fl}	EN ISO 1182 : 2002 ; 且	$\Delta T \leq 30^{\circ} C$; 且 $\Delta m \leq 50\%$; 且 tf = 0 (亦即沒有持續的火焰)	
	EN ISO 1176 : 2002	PCS ≤ 2.0 MJ/kg ⁽¹⁾ ; 且 PCS ≤ 2.0 MJ/kg ⁽²⁾ ; 且 PCS ≤ 1.4 MJ/m ² ⁽³⁾ ; 且 PCS ≤ 2.0 MJ/kg ⁽⁴⁾ ; 且	
A2 _{fl}	EN ISO 1182 : 2002 ; 且	$\Delta T \leq 50^{\circ} C$; 且 $\Delta m \leq 50\%$; 且 tf = 20 s	
	EN ISO 1176 : 2002	PCS ≤ 3.0 MJ/kg ⁽¹⁾ ; 且 PCS ≤ 4.0 MJ/kg ⁽²⁾ ; 且 PCS ≤ 4.0 MJ/m ² ⁽³⁾ ; 且 PCS ≤ 3.0 MJ/kg ⁽⁴⁾ ; 且	
	EN ISO 9239-1 : 2002 ⁽⁵⁾	臨界熱通量 ≥ 8.0 kW/m ²	煙產生量 ⁽⁷⁾
B _{fl}	EN ISO 9239-1 : 2002 ⁽⁵⁾	臨界熱通量 ≥ 8.0 kW/m ²	煙產生量 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 : 2002 曝火時間 = 15 s	20 秒以內 $F_s \leq 150$ mm	
C _{fl}	EN ISO 9239-1 : 2002 ⁽⁵⁾	臨界熱通量 ≥ 4.5 kW/m ²	煙產生量 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 : 2002 ⁽⁸⁾ 曝火時間 = 15 s	20 秒以內 $F_s \leq 150$ mm	
D _{fl}	EN ISO 9239-1 : 2002 ⁽⁵⁾	臨界熱通量 ≥ 3.0 kW/m ²	煙產生量 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 : 2002 ⁽⁸⁾ 曝火時間 = 15 s	20 秒以內 $F_s \leq 150$ mm	
E _{fl}	EN ISO 11925-2 : 2002 曝火時間 = 15 s	20 秒以內 $F_s \leq 150$ mm	
F _{fl}		沒有性能限定	

1. 針對均質產品和非均質產品中本體的成分。
2. 針對非均質產品任何外部的非本體的成分。
3. 針對非均質產品任何內部非本體的成分。
4. 針對產品整體。
5. 測試時間 = 30 分鐘。
6. 臨界熱通量之定義為火燄熄滅處之輻射熱通量或測試時間 30 分鐘後之輻射熱通量(兩者中之較小值)。
7. $s_1 = \text{Smoke} \leq 750\% \text{ min}$; $s_2 = \text{非} s_1$ 。
8. 在表面受到火燄攻擊或在某些產品最終用途上邊緣受到火燄攻擊條件下。

表 1-3、符號表

ΔT	溫度上升
Δm	質量損失
t_f	火焰持續時間
PCS	熱能蔓延潛能
FIGRA	火勢成長率
THR_{600s}	總熱釋放
LFS	橫向火焰擴展
SMOGRA	煙產生率
TSP_{600s}	總煙產生
F_s	火焰擴散

第二節 文獻回顧

在 1917 年，Thornton【6】發現大部分的有機液體與氣體在燃燒之後，消耗每單位氧氣的熱釋放率會趨於一個定值，隨後，Hugget【7】發現有機固體也有此一相似的現象，此定值為 $E=13.1 \text{ MJ/kg O}_2$ ，由 Thornton【6】的原理，可以藉由量測氧氣的消耗來計算一個燃燒系統所產生的淨熱釋放率；之後，Parker【8】是第一個應用氧氣消耗原理來進行相關研究的人，後來這種方法被廣泛的應用在各種尺寸的房間測試中。在 1983 年，第一個關於此方法的國際標準為 ASTM E906-83【9】，而 1990 年公佈了第一個圓錐量熱儀的試驗標準 ASTM E1354-90【10】；1993 年，ISO 公佈了類似於圓錐量熱儀的測試標準 ISO 5660【1】，其熱釋放率之量測和計算方法與 ISO 9705【2】類似，而 SBI【3】的熱釋放率及計算方法也是採用此原理，在 SBI 的排煙管道中會有一個區段用來對燃燒過後的氣體做取樣，其中氧氣的消耗量就用來計算熱釋放率。

計算公式為：

$$HRR_{total}(t) = E_{O_2} \times V_{298}(t) \times X_{a-O_2} \times \left(\frac{\phi(t)}{1 + 0.105 \times \phi(t)} \right)$$

其中：

$HRR_{total}(t)$ = 為樣品及燃燒器的總熱釋放率，單位為[kW]。

- E_{O_2} = 在溫度 298K 下，消耗每單位體積氧氣所產生的熱釋放值，其值為 17.2kJ/m^3 。
- $V_{298}(t)$ = 在一般溫度 298K 時，排氣系統的體積流率，單位為 $[\text{m}^3/\text{s}]$ 。
- $X_{a_{O_2}}$ = 大氣中（包含水蒸氣）的氧氣莫耳分率。
- $\phi(t)$ = 氧氣消耗因子。

1997 年陳俊勳與雷明遠等人【11】，將 18 種的建築材料分別於 ASTM-1354 與 CNS6532 中測試，並針對測試的結果，提出了一個兩者在防火性能判定上的關係。

1999 年 Tsantaridis 與 Ostman【12】將 30 種材料，分別於火災房間測試 (ISO9750)、圓錐量熱儀 (Cone Calorimeter) 與單材耐燃測試儀 (SBI) 作測試，文獻中把圓錐量熱儀之火災成長率 (Fire Growth Rate, FIGRA) 定義為熱釋放率峰值除以其發生時間。將 30 種材料的 FIGRA 分析後，發現 Cone 與 SBI 的相關係數 R^2 約為 0.92，SBI 與 ISO9705 的相關係數 R^2 約為 0.85、而 Cone 與 ISO9705 的相關係數 R^2 約為 0.76。這意味材料在 SBI 的燃燒情況，是非常類似於 Cone Calorimeter 的。

在 1997 年時，歐盟利用了 11 個會員國的國家實驗室來進行 SBI 的對比研究，2000 年 Messerschmidt 與 Hees【13】研究全部的實驗數據後發現，有某些材料在不同的實驗室測試時，會得到差異性非常大的測試結果，他們發現造成此一現象的原因為氧氣分析儀的靈敏度。他們建議在操作氧氣分析儀需很謹慎，否則將很容易產生非常大的實驗誤差。

2001 年 Hakkarainen 與 Kokkala【14】，利用材料在 Cone 所得到的測試結果，經由他們所發展出來的計算模式，來預測材料在 SBI 中的測試結果，雖然材料在 SBI 中的真正熱釋放率是無法利用 Cone 的熱釋放率給完全模擬出來，但若利用基於 Cone 的測試結果所模擬

出的 SBI 熱釋放率來作為 SBI 的分級判斷依據，則在全部的 33 種的材料中，會有約 29 種的材料，其不管是用模擬的 SBI 熱釋放率或真正的 SBI 熱釋放率，均可符合同一等級的要求。

第三節 本文架構

我國目前已有兩部單材耐燃測試儀(SBI)，其分別位於內政部建築研究所台南防火實驗室以及中山科學研究院四所的防火實驗室，而內政部建築研究所與工業技術研究院也均有圓錐量熱儀，但目前燃燒性測試數據均未互相比對，故本計畫擬將此建研所與中科院之單材耐燃測試儀及建研所與工研院之圓錐量熱儀以相同材料測試以作為比較燃燒性測試對比研究之用。而材料方面則是針對目前一些創新建築材料如：奈米建材、綠建材、複合材料等，分別於圓錐量熱儀、單材耐燃測試儀中作遇火反應(Reaction-to-Fire)的防火性能測試。以瞭解這些創新建築材料的引燃時間、熱釋放率及煙產生率。期由測試方式，建立一套完整的材料測試數據庫，以供未來作更進一步的電腦分析以及協合國際防火測試標準來建立我國新的測試方法和基準。

第二章 實驗設備及測試程序

對目前一些創新的材料如：奈米建材、綠建材、複合材料等，規畫出燃燒試驗之項目，可分為兩個部份，第一部份為單材耐燃測試儀(SBI)之中尺寸實驗，以歐盟規範 EN13823 為架構進行試體遇火反應之實驗。第二部份則為小尺寸之圓錐量熱儀試驗，以 ASTM 1354、ISO5660 及 CNS 14705 規範為基本架構進行試體之熱釋放率之實驗。在本章將針對燃燒實驗設備加以說明。

第一節 整體測試系統的架構

首先是關於單材耐燃測試儀設備的部份。本研究是採用歐盟所定測試方法 EN13823 為基本架構，圖 2-1 即為此試驗之整體外觀圖，試體安置於燃燒室內由一引燃源引燃後，燃燒的氣體產物則是經由集煙罩和排氣管收集，在經過一段距離，使氣體速度場、濃度分佈更趨均勻後，方由取樣管將氣體抽至 CO/CO₂ 分析儀以及 O₂ 分析儀進行氣體分析。在排氣管中同時裝設有雙向板托管(Bi-directional pitot tube)以及算管中流速，同時亦透過光學系統進行流動式煙濃度的量測及量測溫度的熱電偶，量測時是產生微電壓訊號，經由資料擷取系統(Data Acquisition System, DAQ)配合電腦即時將電壓訊號轉換成相關的資料並記錄存檔。

第二節 設備簡介：單材耐燃測試儀(SBI)

而單材耐燃測試儀外觀，測試的主要結構可以分為三個部分：火災測試房間（如圖 2-1 及圖 2-2）、排煙管道（如圖 2-3）和樣品推車（如圖 2-4）。測試房間的尺寸大小為長、寬各為 (3.0 ± 0.2) m，高為 (2.4 ± 0.1) m（如圖 2-5）。在測試過程中所產生的燃燒產物則經由測試房間上方，開口為長 1.45m、寬 1.25m 的集煙罩(如圖 2-6)收集之後，排入排氣管道(如圖 2-7)內，而所有量測、取樣氣體的儀器皆

架設在排氣管道之內，例如氣體取樣系統、溫度量測系統、氣體濃度量測系統及煙量測系統等...。樣品推車則是用於安裝測試樣品及燃燒器，單材耐燃測試儀的測試樣品分為長、短兩邊而且互相垂直成 90° ，而此測試方法採用了兩個燃燒器，一個架設在推車底板上，位置在兩個樣品互相垂直的角落上，此燃燒器稱為主燃燒器；另一個燃燒器則安裝在推車的框架上，此燃燒器稱為輔助燃燒器，輔助燃燒器的作用主要在用於校正燃燒器的熱釋放率，輔助燃燒器是架設在用來固定樣品推車及支撐排煙罩的固定框架上；主燃燒器與輔助燃燒器之相對位置如圖 2-8 所示。推車底部的空氣進氣口應該使用多孔性的平板，使得空氣在進入測試房間之後產生均勻分佈的流動，燃燒器使用的燃料為純度至少 95% 以上的商業用丙烷。以下為測試儀器說明。

一、 測試房間（如圖 2-1、圖 2-2）：

(a) 房間內部尺寸應該為：高度 (2.4 ± 0.1) m

樓地板每邊長度 (3.0 ± 0.2) m

房間牆壁的材質應為磚造型式，如混凝土、石膏板、矽酸鈣板或是其他分類為歐盟等級 A1 或 A2 等級的材料。

(b) 在測試房間的其中一面牆上，應該要有一個寬為 1.47m 和高為 2.45m 的開口，此開口是為了便利樣品推車的進出，為了方便觀察樣品，在與樣品被板互相垂直的兩個牆面上要有兩個窗戶，另外為了處理 SBI 的儀器或是當推車就定位之後可以對樣品進行調整，必須要有另一個對外的門，不過對於這個門的位置並無特別的規定。

(c) 當樣品推車就定位之後，測試樣品長邊的那一部分與牆的垂直距離應該要有 (2.1 ± 0.1) m，整個房間的開口除了樣品推車底部的空氣入口和排煙罩的開口之外，其他的開口總面積不得超過 0.05m^2 。

二、樣品背板 (backing board) :

背板的位置是在推車上的樣品之後，材質應為矽酸鈣板，密度為 $(800 \pm 150) \text{ kg/m}^3$ ，厚度為 $(0.012 \pm 0.003) \text{ m}$ ，測試樣品尺寸如下：

- (a).在短翼上：(至少 $570\text{mm} + \text{樣品厚度}$) \times $(1500 \pm 5) \text{ mm}$ 。
- (b).在長翼上： $(1000 \pm 5) \text{ mm} \times (1500 \pm 5) \text{ mm}$ 。

三、測試樣品：

測試樣品分為兩個翼，一個長翼一個短翼，兩片構成一個角落，樣品的最大厚度是 200mm ，尺寸如下：

- (a).短翼： $(495\text{mm} \pm 5) \times (1500 \pm 5) \text{ mm}$ 。
- (b).長翼： $(1000 \pm 5) \text{ mm} \times (1500 \pm 5) \text{ mm}$ 。

樣品厚度限制： 200mm 以下。

測試樣品在推車上的置放方式應該互為垂直；樣品及背板之相對位置如圖 2-9 所示。

四、排煙系統：

(a) 集煙系統：

集煙系統又可細分為集煙管(圖 2-6)和集煙罩(圖 2-7)，集煙罩尺寸為長 1.45m 、寬 1.25m ，詳細設計參照圖 2-7。

(b) 排煙管道：

在排煙管道的部分有一個量測管(外型為 J 型，內部直徑為 315mm ，外部覆有 50mm 高的無機織品絕熱層)：參考圖 2-3。如圖 F 段，管長 2155mm ，用於架設壓力探測器、三支熱電偶、氣體取樣管、白光熄滅系統(煙量測系統)，這段區域稱為一般量測區，在與 E 段連接處後 1526mm 開始架設測試及取樣用的儀器，儀器間距為 100mm ，以氣流流動方向由上游往下游依序為壓力探測器、熱電偶、氣體取樣管及煙測系統，相對位置如圖 2-10 所示，後接排氣管並連接抽風機，

抽風機的規格並無規定，但是需要達到在測試條件之下，常態的標準 298K 下，排煙系統應該要能夠連續不斷的抽出 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 到 $0.65\text{ m}^3/\text{s}$ 的體積流率，其計算公式如下面“排氣量”部分的說明。

注意：在固定量測管的部分除去管子部分的總重量之後應為 250kg。

(c) 排氣量：

在測試條件之下，常態的標準溫度 298K 下，排煙系統應該要能夠連續不斷的抽出 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 到 $0.65\text{ m}^3/\text{s}$ 的體積流率。

計算 $V_{298}(t)$

$$V_{298} = c \cdot A \cdot \frac{k_t}{k_\rho} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p(t)}{T_{ms}(t)}}$$

其中

$V_{298}(t)$ = 在常態標準 298K 下，排氣系統的體積流率，單位為 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ 。

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot T_0}{\rho_0}} = 22.4, \text{ 單位為 } \sqrt{\frac{\text{K} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}}}$$

A = 在一般量測區的排氣管面積，單位為 m^2 。

k_t = flow profile factor，此為無因次。

k_ρ = 雙向皮托管的雷諾修正係數，取 1.08，此為無因次。

$\Delta p(t)$ = 壓力差，單位為 Pa。

$T_{ms}(t)$ = 在一般量測段的溫度，單位為 K。

(d) 在排煙管中一般量測段中所使用的儀器：

(1) 三個熱電偶應該被隔離，根據 EN-60584-1 一致採用 k-type 的熱電偶，直徑 0.5mm，插入鞘內並隔離，尖端的位置應該在軸向半徑 $87 \pm 5\text{ mm}$ 並且各成 120° 。

(2) 雙向皮托管 (bi-directional probe) 應該與一個範圍在 0Pa ~ 100Pa 的壓力轉換器連接，且準確度為 2Pa，壓力轉換器的反應時間應該為 1 秒的 90% 以內或更好。

- (3) 氣體取樣管應該連接到氣體調整單元和 O₂ 與 CO₂ 分析器：
1. 氧氣分析器應為順磁式 (paramagnetic type)，能夠量測的範圍應至少在 0% ~ 21% 的氧濃度 (Vo₂/Vair)，反應時間應該不能超過 12 秒，在每 30 分鐘的週期內，分析器的噪音和堆積物不能超過 100ppm，從分析器輸出到資料擷取系統的分辨率最大值應該為 100ppm。
 2. 二氧化碳分析器應為 IR 式 (IR type)，能夠量測的範圍應至少在 0% ~ 10% 的二氧化碳濃度(準確度 1% 或更好)，反應時間應該不能超過 12 秒，在每 30 分鐘的週期內，分析器的噪音和堆積物不能超過 100ppm，從分析器輸出到資料擷取系統的分辨率最大值應該為 100ppm。
- (4) 排氣管道應該有邊管 (內直徑為 45mm)，與水平方向成直角，位置在排氣管的縱軸上，光學系統可以架設在一個可彎曲的邊管上，空氣可以被導入邊管來保持光學系統的清潔與需要稀薄要求的規定。在此，光學系統採用白光稀薄系統，白光系統應該採用白光形式 (white light type)，而且可在溫度為 2900±100k 的條件下操作，應該供給燈泡穩定的直流電，穩定範圍在 0.5% (包括溫度、short-term 和 long-term 的穩定性)。

五、燃燒器

- (a) 主燃燒器：架設在推車底板上，位置在兩個試體互相垂直的角落上，使用的燃料為純度至少 95% 以上的商業用丙烷以提供熱源(主燃燒器與輔助燃燒器之丙烷質量流率為相等的)。
- (b) 輔助燃燒器：安裝在推車的框架上，位置在試體垂直處

的對角線位置上，距地板上方（ 1.45 ± 0.005 ）m 或是從集煙罩起算垂直向下 1.0m 處，輔助燃燒器的作用主要在於校正燃燒器的熱釋放率。

第三節 設備簡介：圓錐量熱儀(CONE)

儀器、裝置及器具：整體試驗設備如圖 2-11 所示。試體的前處理是於試體製作完成後，置入恆溫恆溼箱中，以溫度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 相對溼度 $50 \pm 5\%$ 處理，至少 24 小時，接下來才可配合工法施作，裝於圓錐量熱儀。

一、圓錐輻射電熱器(cone-shaped radiant heater)

如圖 2-12 電熱器外側應以雙層不銹鋼圓錐形筒(其間充入厚度 13mm 且密度為 100 kW/m^2 之耐火纖維層)包封，並設有三支控制溫度用、外徑 $1.0 \sim 1.6\text{mm}$ 之套筒式熱電偶。電熱器須能在試體表面產生高達 100 kW/m^2 之輻射熱。輻射熱在試體中央之 $50 \times 50\text{mm}$ 範圍內應為均勻，且差異在 $\pm 2\%$ 以內。

二、輻射熱遮蔽板(radiation shield)：圓錐形電熱器應有一個移動式輻射熱遮蔽板，使試體在試驗開始之前不接受熱通量。該遮蔽板應為不燃材質，總厚度 12mm 以下。

三、輻照度控制器(irradiance controller)：輻射熱控制系統應經調校，使其電熱器熱電偶能與預定之溫度保持在 10°C 以內。

四、載重裝置(weighting device)：載重裝置之精度應在 0.1g 。其載重能力應在 500g 以上，其 $10 \sim 90\%$ 之回應時間應在 $1 \sim 4$ 秒之間，其輸出讀數在 30 分鐘之內應在 $\pm 0.5\text{g}$ 。

五、試體承盤(specimen holder)：如圖 2-13 承盤底部須鋪以一層密度約

$65\text{kg}/\text{m}^3$ 且厚 13mm 之耐火毯。圓錐形電熱器底部與試體頂部之間距應調整為 $25 \pm 0.5\text{mm}$ 。

六、排氣系統(exhaust gas system)

- (a) 排氣系統應由離心式抽氣風扇、頂蓋、風扇之吸入排出風道及限流孔片流量計(orifice plate flow meter)構成，如圖2-14所示。頂蓋之底部與試體頂部之間距應為 $230 \pm 50\text{mm}$ 。在標準之溫度、壓力下，排氣系統須能產生 $0.012 \sim 0.035\text{m}^3/\text{s}$ 之流量。
- (b) 風扇進口風道應置有環形取樣器，距頂蓋 $685 \pm 15\text{mm}$ (如圖2-14)。氣體取樣環上計有12個直徑 $2.2 \pm 0.1\text{mm}$ 之小孔，這些孔洞面向氣流之反向。
- (c) 氣流之溫度應以外徑 $1.0 \sim 1.6\text{mm}$ 套筒接頭之熱電偶量測。

七、氣體取樣設備(gas sampling apparatus)：氣體取樣設備如圖2-15 所示。

八、引燃器(ignitor)：使用 10kV 變壓器火星塞(spark plug) 或火花引燃器(spark ignitor)。引燃器火花位置應位於試體上方 13mm 處。

九、引燃計時器(ignition timer)：精度須在1小時誤差 ± 1 秒以內。

十、氧氣分析儀(oxygen analyzer)：氧氣分析儀應為順磁式(paramagnetic type)，其量測範圍至少為 $0 \sim 25\%$ 氧氣。氧氣分析儀之雜訊(noise)及漂移(drift)應小於 $\pm 50\text{ppm}$ 。氧氣分析儀之 $10 \sim 90\%$ 之全幅回應時間(full-scale response time)應小於12秒。

十一、熱通量計(heat flux meter)：熱通量計應為Schmidt-Boelter型，其量測範圍為 $100 \pm 10\text{kW}/\text{m}^2$ 。該儀器精度須為 3% ，可再現性在 $\pm 0.5\%$ 之內。冷卻水溫應維持在室溫 $\pm 5^\circ\text{C}$ 之內。

- 十二、校正燃燒器(calibration burner)：校正燃燒器應為配置面積 $500 \pm 100m^2$ 方形或圓形限流器且覆以金屬線網之管子。
- 十三、數據收集與分析系統(data collection and analysis system)：數據收集與分析系統應具備記錄來自氧氣分析儀、限流孔計、熱電偶、載重設備及其他設備之輸出信號功能。數據收集系統之精度在氧氣量測上應為 $50ppm$ 氧氣，在溫度量測上應為 $0.5^\circ C$ ，在所有其他頻道上應為全輸出刻度之 0.01% ，在時間上應為 0.1% 。該系統應能每5秒記錄一次資料，並持續一小時以上。
- 十四、側屏(side screen)：基於操作及安全之考量得在加熱器及試體承盤旁設置側屏。

第四節 各項校正

為使儀器維持穩定及準確性，在試驗之前必須進行儀器設備的校正。

(a) 氣體分析儀的校正

以高純度氮氣(99.99%)作為零點(Zero gas)，用以定出 CO/CO_2 及 O_2 氣體分析儀的零點(Zero point)； CO/CO_2 分析儀是使用一氧化碳及二氧化碳混合氣做為跨幅氣體去定跨幅點(Span point)。接著再以室溫下空氣作跨幅氣體(Span gas)，用以校正出 O_2 分析儀之跨幅點。

(b) 熱釋放率的校正

利用已知單位質量所產生的燃燒熱與每消耗單位質量氧氣可釋放出熱釋放率的高純度之燃料(單材耐燃測試儀為使用庚烷加火；圓錐量熱儀為使用甲烷)進行校正，校正完畢後，比較以氧氣消耗法計算之總熱釋放量求得的總熱釋放量是否相差在 5% 以

內。

(c) 燃燒器的調校

- (1) 單材耐燃測試儀之燃燒器的調校，進入熱量校正畫面依實驗步驟，調整丙烷質量流量為 $647 \pm 50 \text{mg/s}$ ，其熱量為 $30.7 \pm 2.0 \text{ kW}$ 。
- (2) 圓錐量熱儀之輻射電熱器的調校，進入熱量校正畫面，調整電熱器之輸出熱量為 50 kW ，約 740°C 之溫度。

第五節 工研院與建研所之圓錐量熱儀之差異

工研院的圓錐量熱儀之廠商是 ATLAS 的機台，是其公司圓錐量熱儀的第二代機型，又稱 CONE2；建研所的圓錐量熱儀是 FTT(Fire Test Technology, FTT)之機台，而機台是 FTT 公司的第三代機型，又稱 CONE3。工研院 CONE2 機台外觀如圖 2-16 所示，建研所 CONE3 機台外觀如圖 2-17 所示。而由圖 2-16 及圖 2-17 中可以明顯觀察出 ATLAS 與 FTT 之機台本身的差異，在通風條件上有很大的不同，ATLAS 的機台其燃燒室的四周是用玻璃隔離，燃燒所需之空氣主要是經由試體載重裝置下方的一個圓形洞所提供，供給之空氣不是直接接觸到試體，而並且進入的空氣會有類似於預熱的效果；而圖 2-17 為 FTT 之圓錐量測儀之外觀圖，其玻璃阻隔的範圍大約 ATLAS 機台的一半左右，而燃燒所需之空氣會直接接觸到試體，補給之空氣溫度明顯低於燃燒時之試體溫度，所以其燃燒室溫度與 ATLAS 機台燃燒室溫度有差異性。

圖 2-1、SBI 之整體實驗概圖

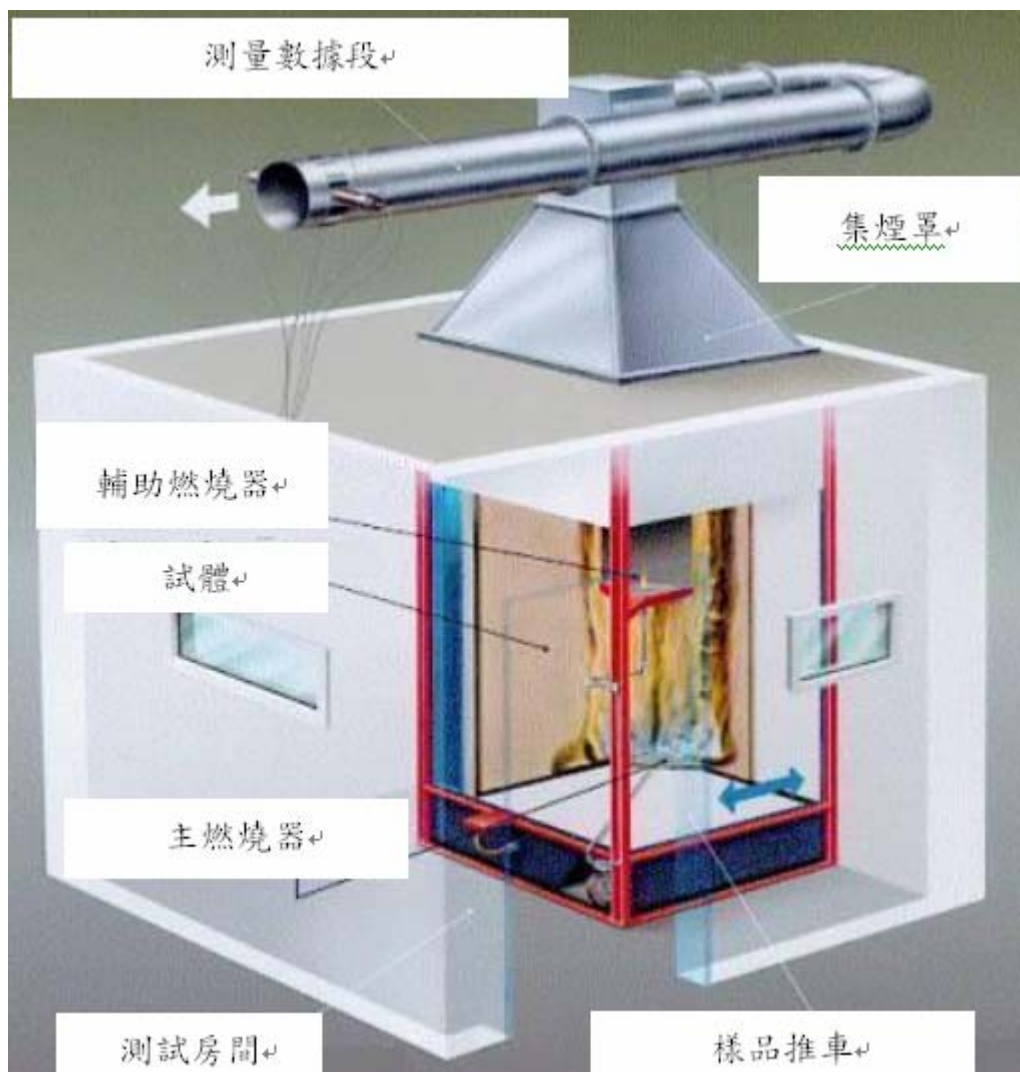


圖 2-2、SBI 之整體實驗示意圖

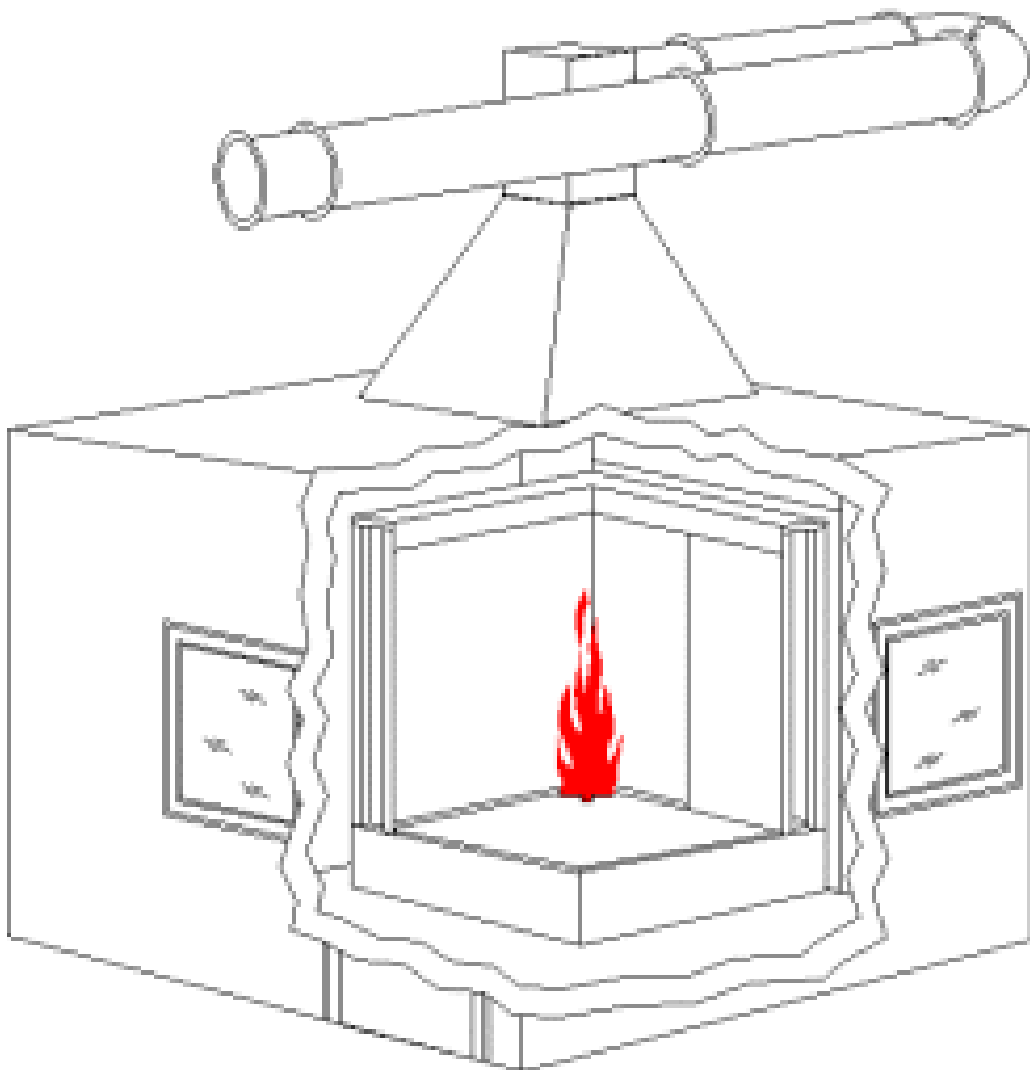
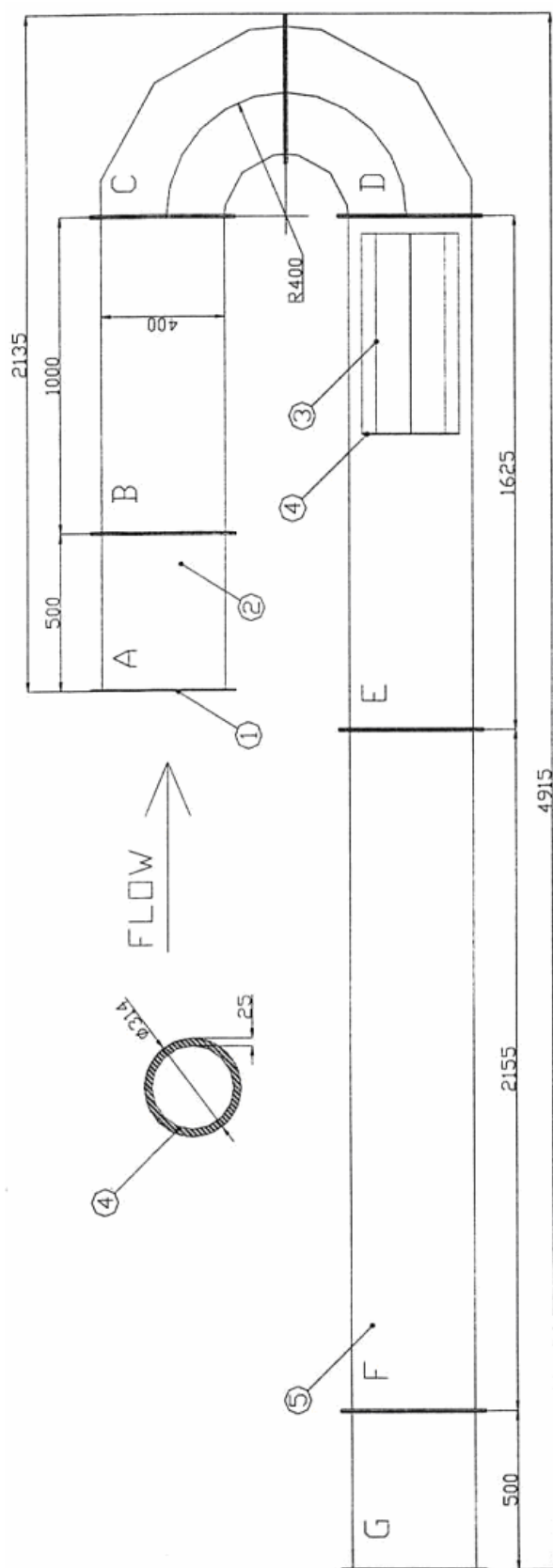


圖 2-3、SBI 之排煙管道概圖



- 1. 收集管與排氣罩之相關位置
- 2. 溫度量測
- 3. 導向葉片
- 4. 衰微環
- 5. 測量段

圖 2-4、SBI 之樣品與推車

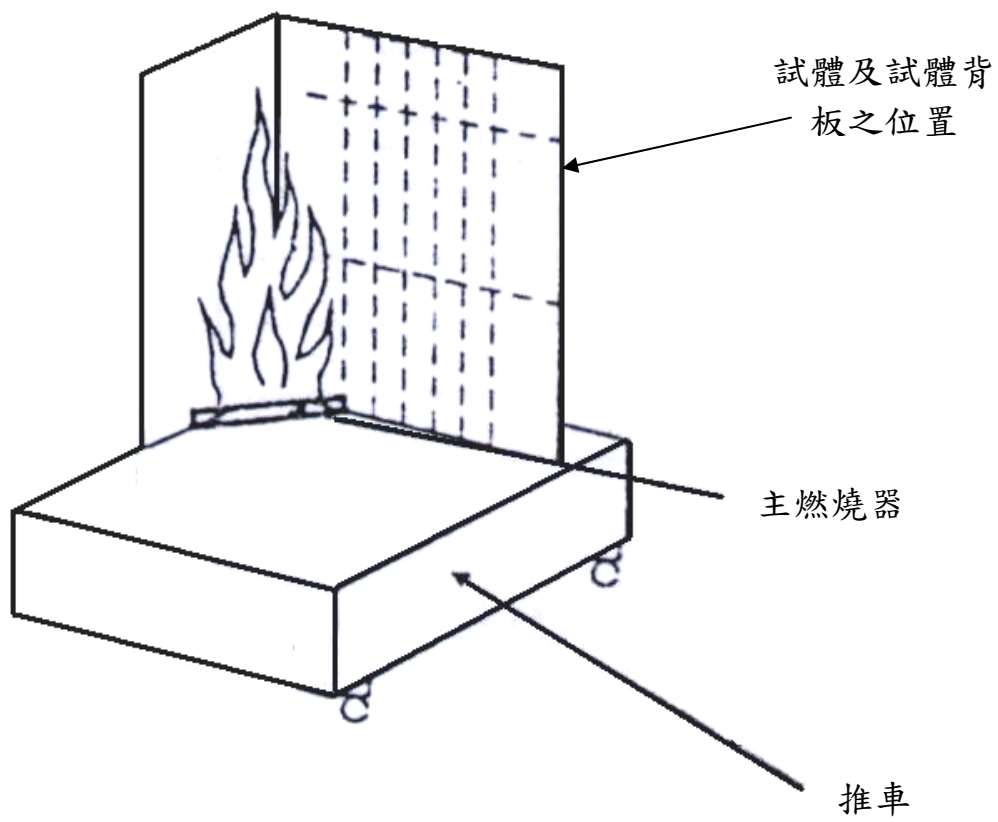


圖 2-5、SBI 之外觀尺寸圖

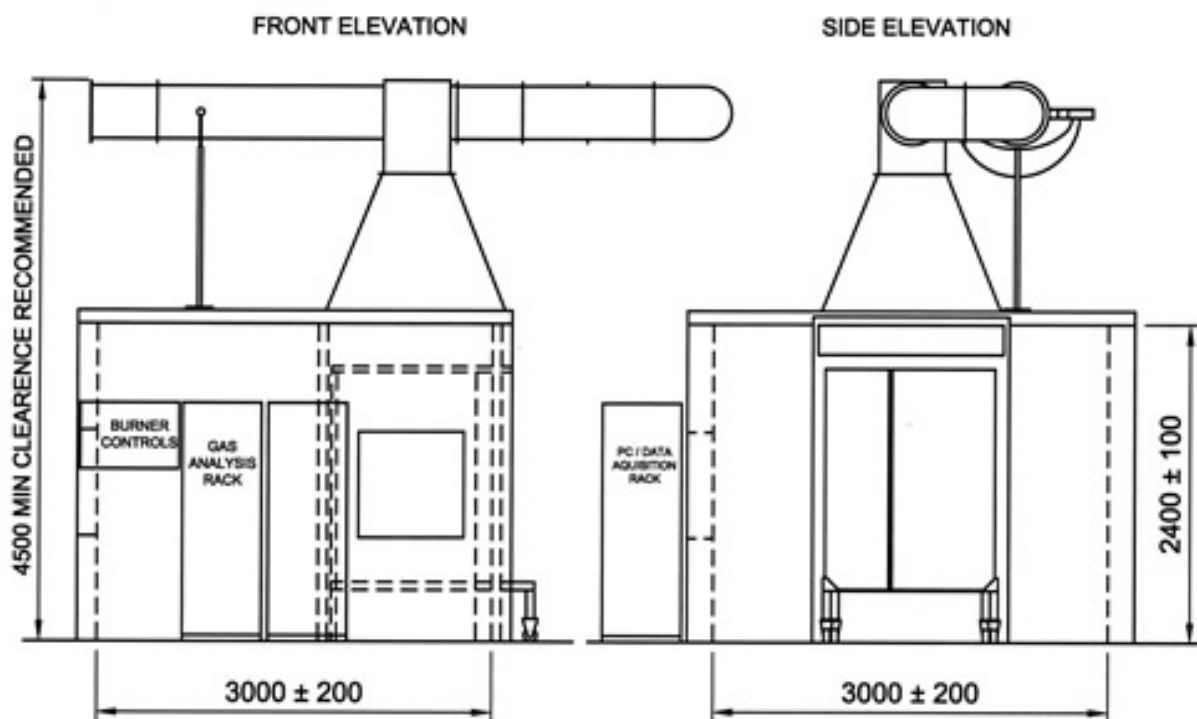


圖 2-6、SBI 之集煙罩的尺寸圖

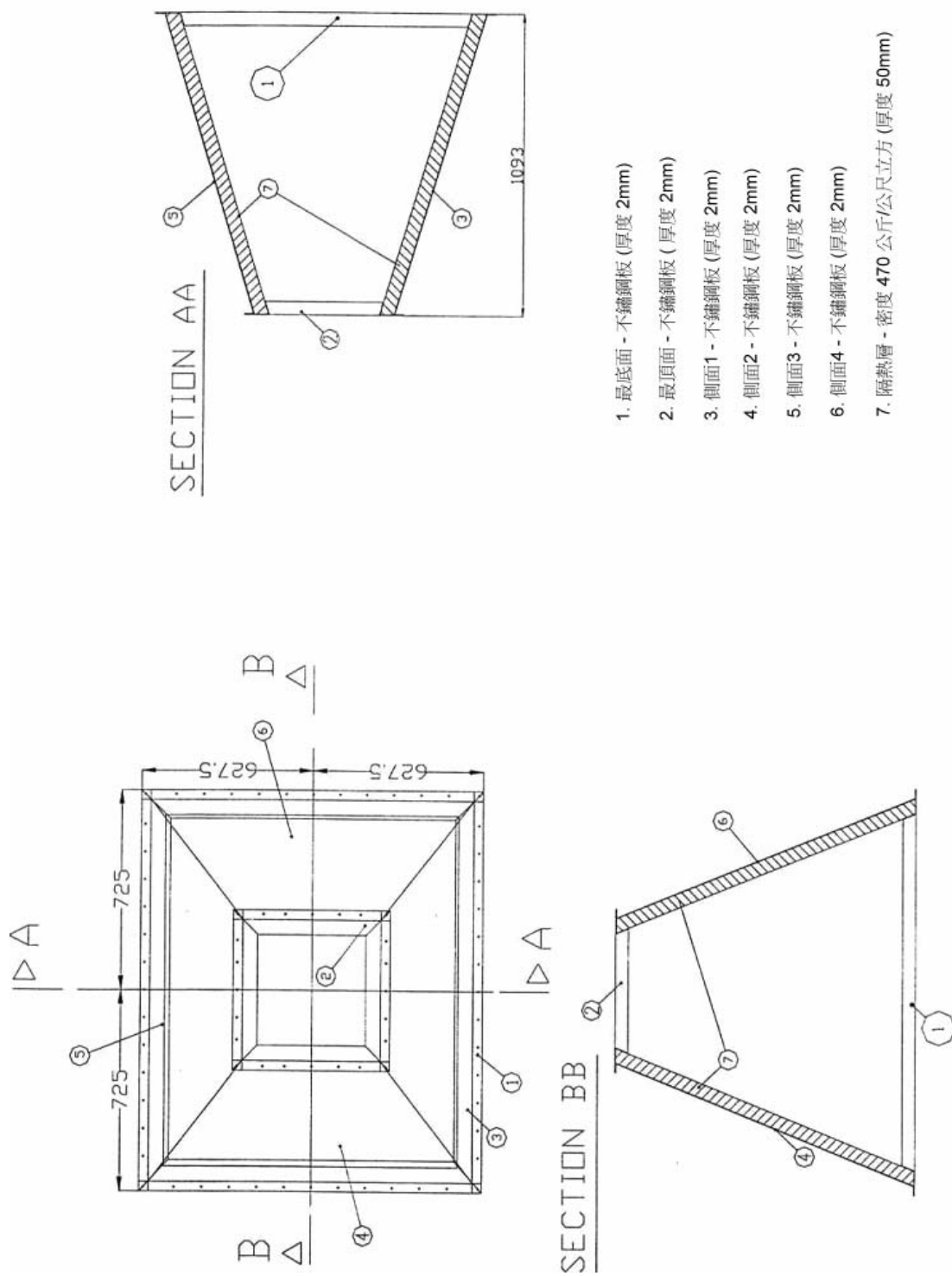


圖 2-7、SBI 之集煙管的尺寸圖

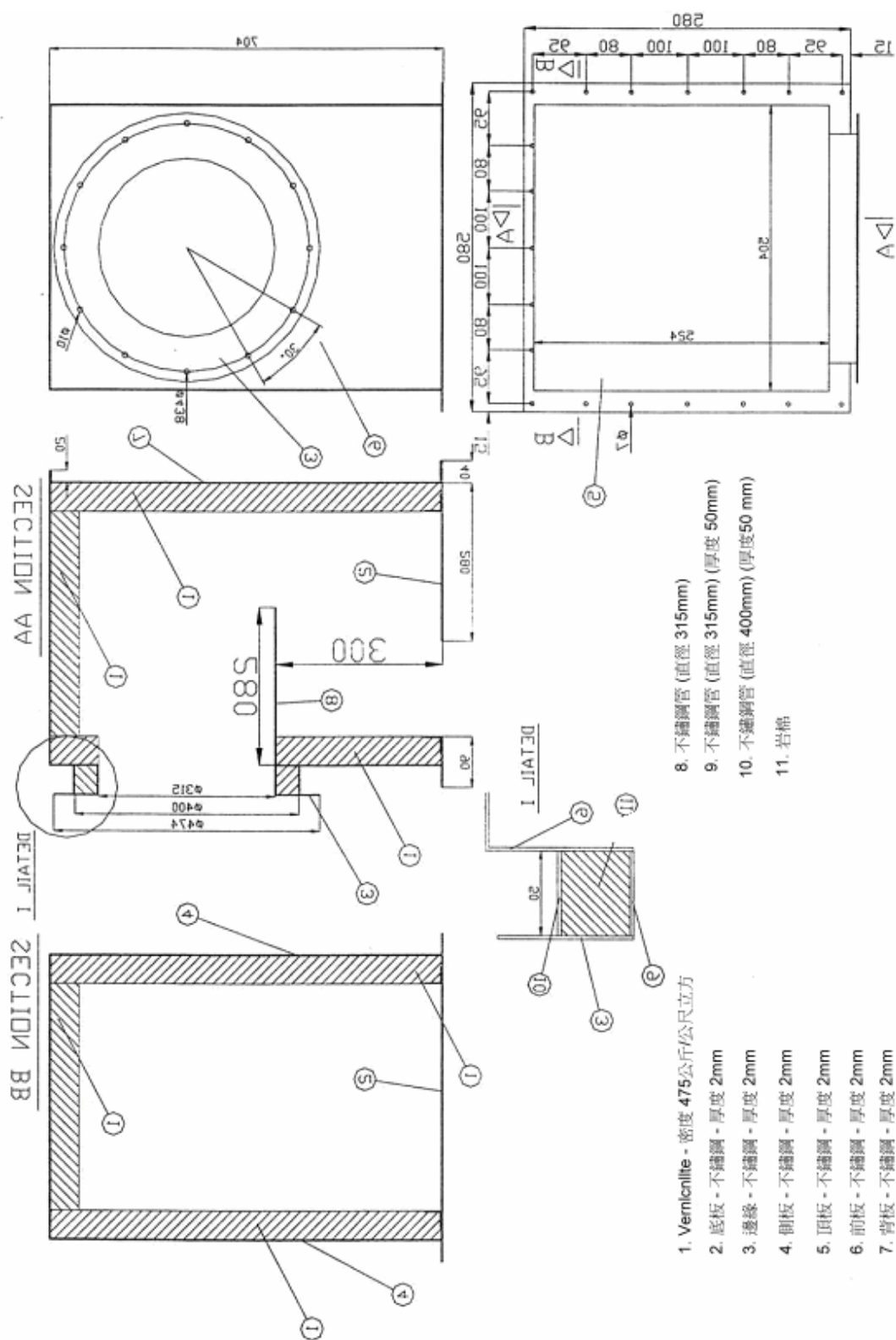


圖 2-8、SBI 之主燃燒器與輔助燃燒器之相對位置圖

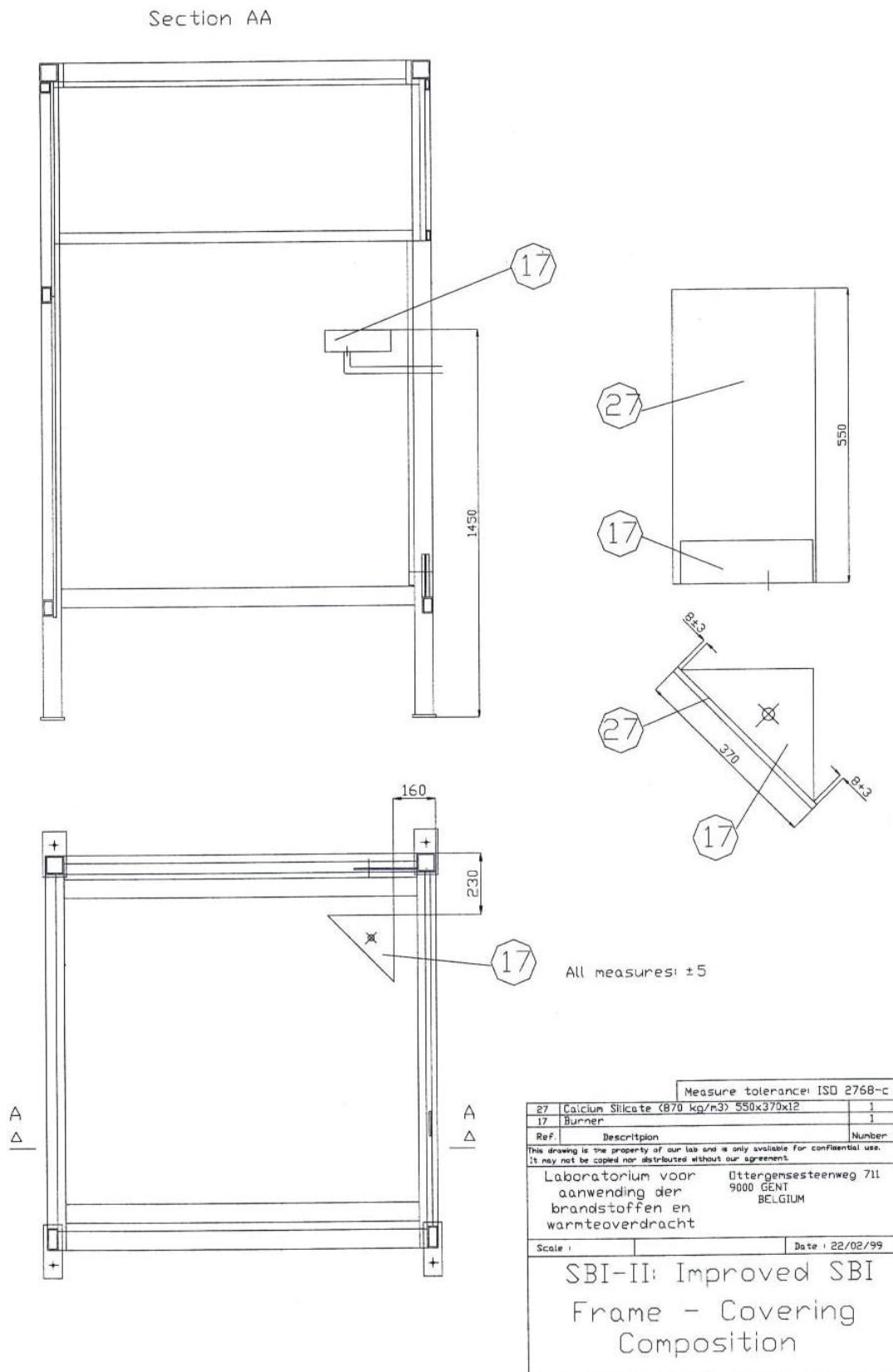


圖 2-9、SBI 之樣品與背板的相對位置圖

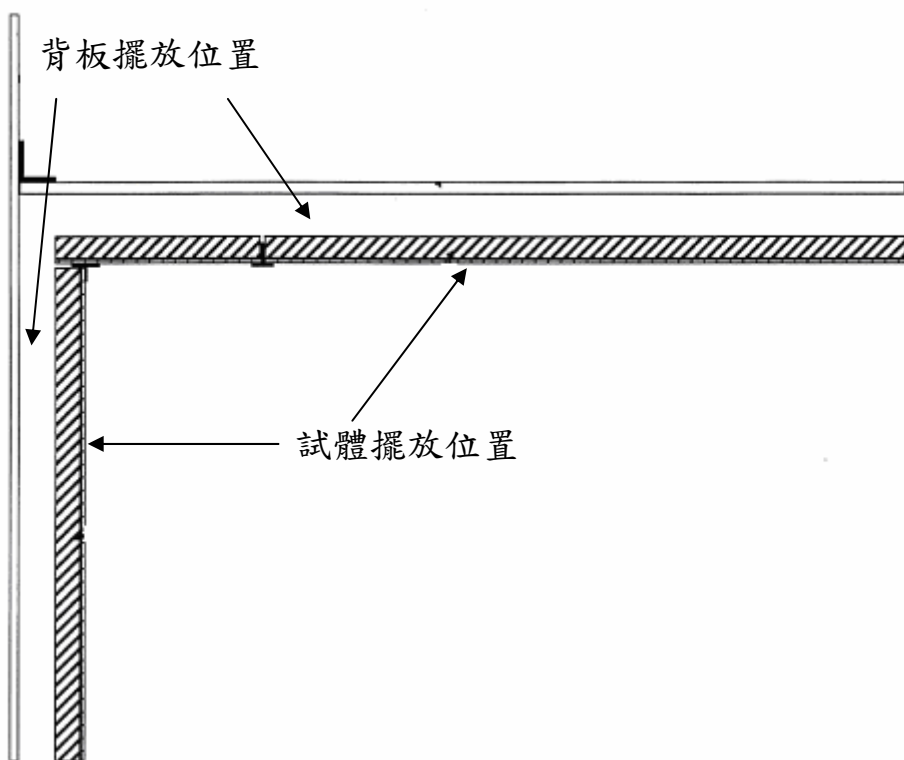


圖 2-10、SBI 之量測儀器的相對位置圖

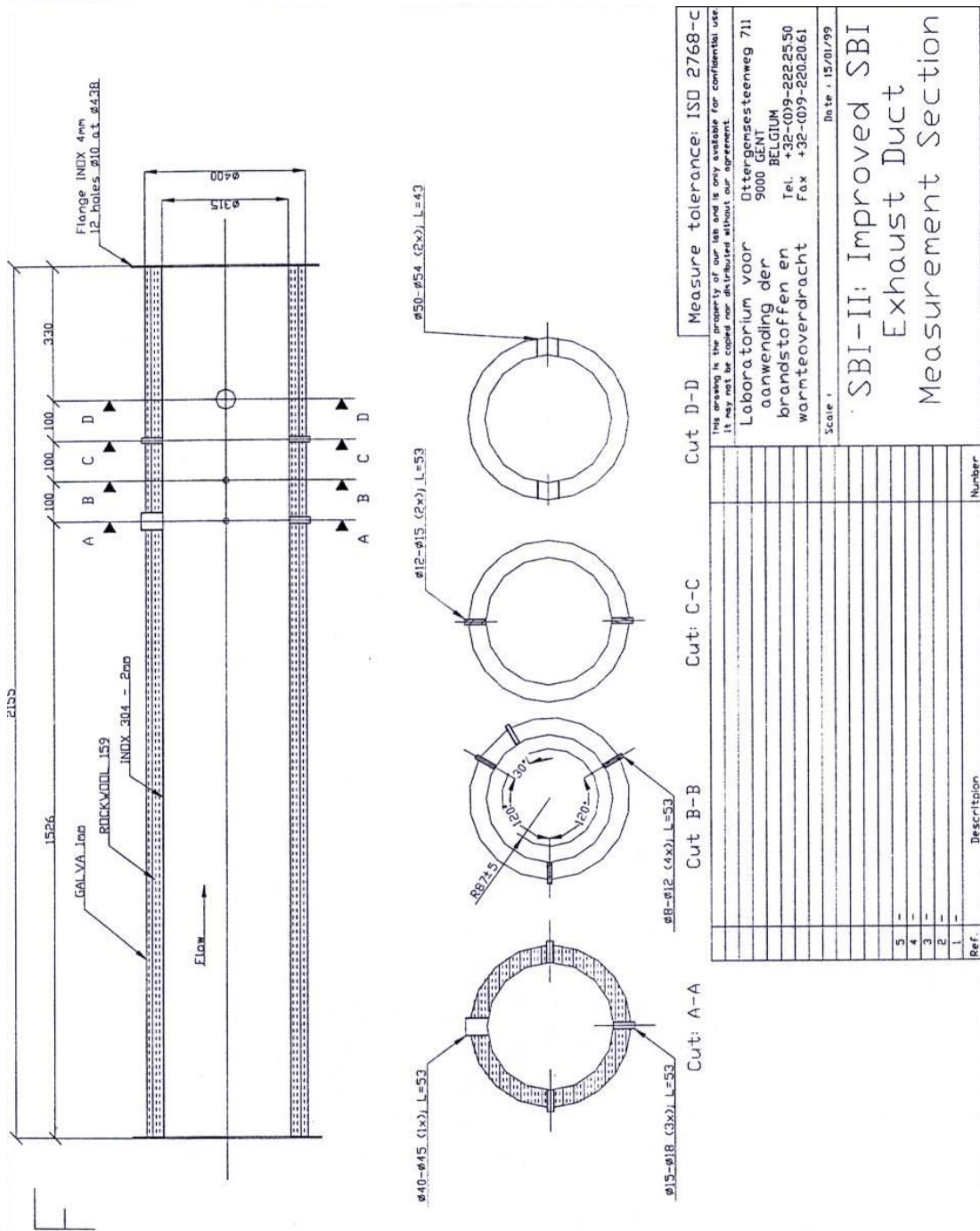


圖 2-11、圓錐量熱儀(CONE)之整體試驗設備圖

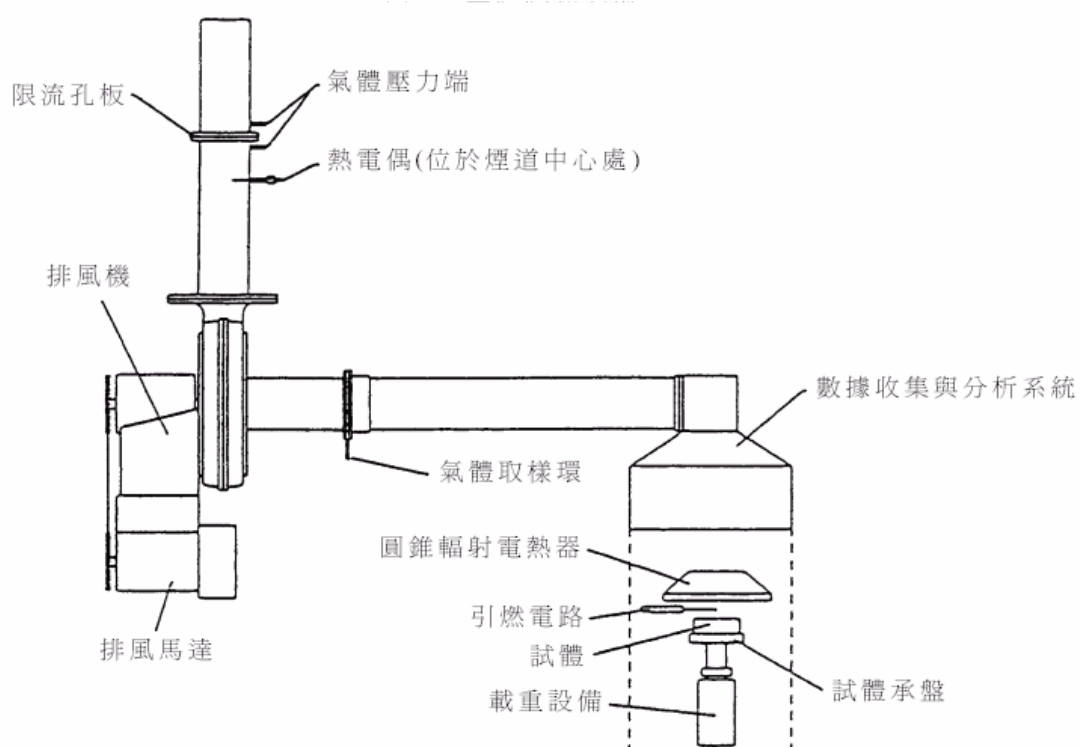


圖 2-12、CONE 之圓錐輻射電熱器

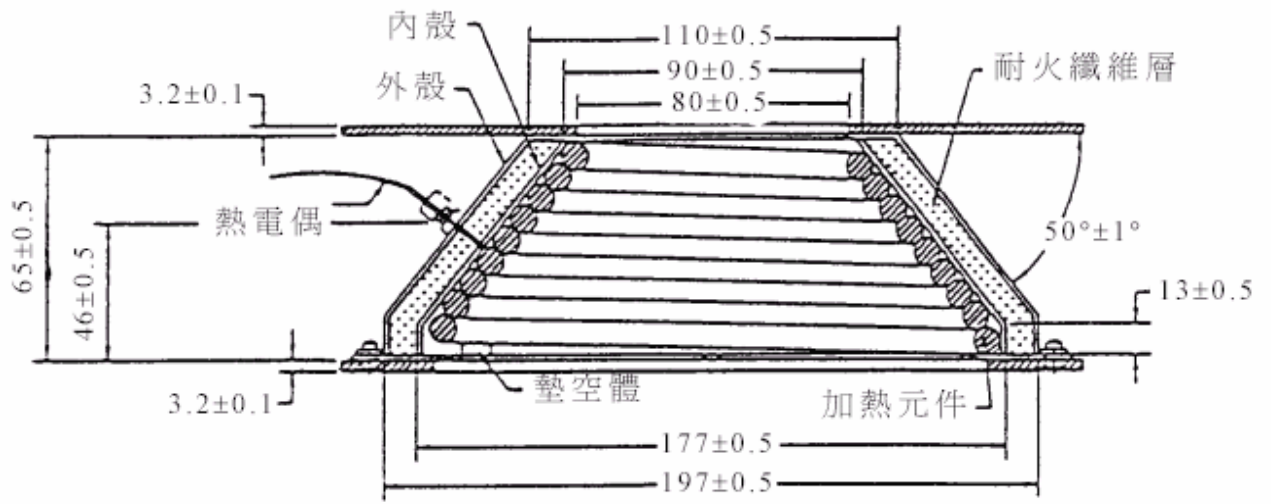


圖 2-13、CONE 之試體承盤

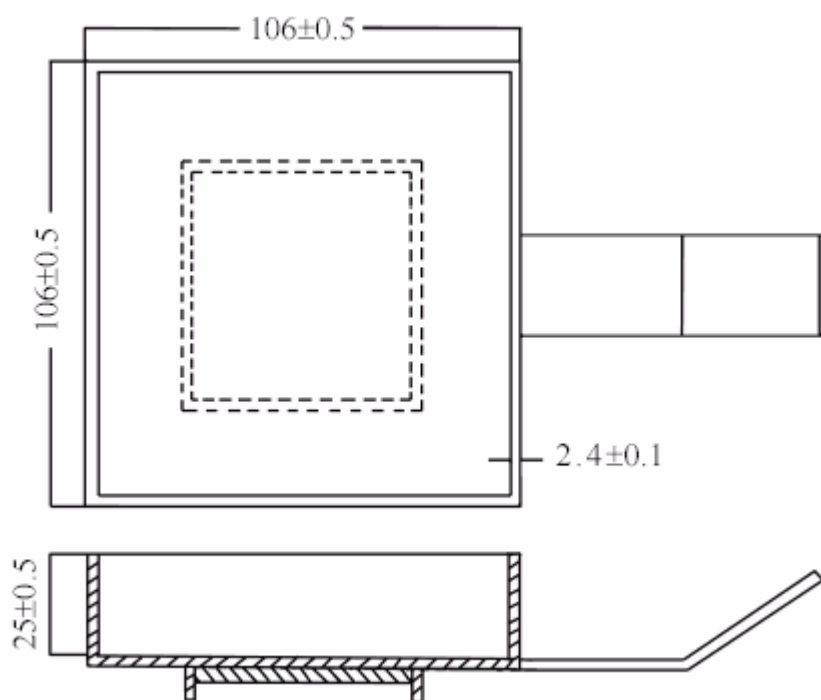


圖 2-14、CONE 之風扇進口風道

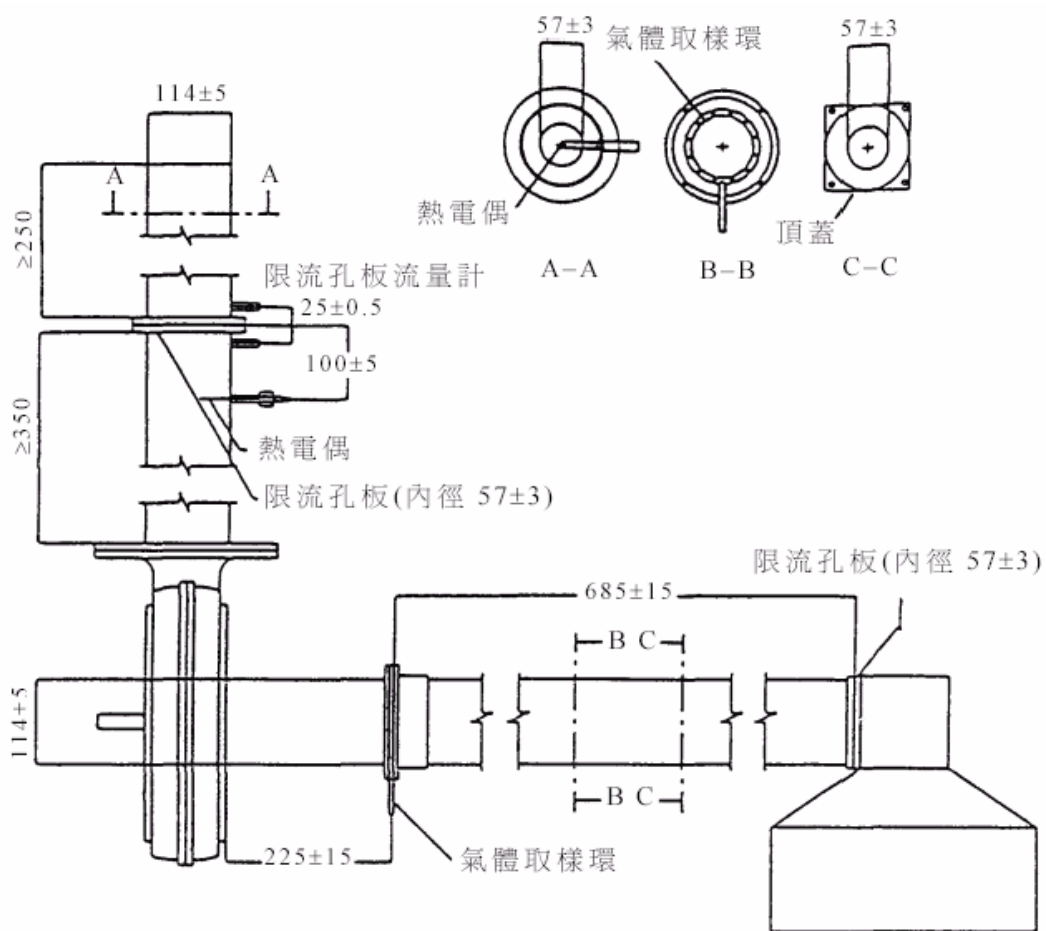


圖 2-15、CONE 之氣體取樣設備

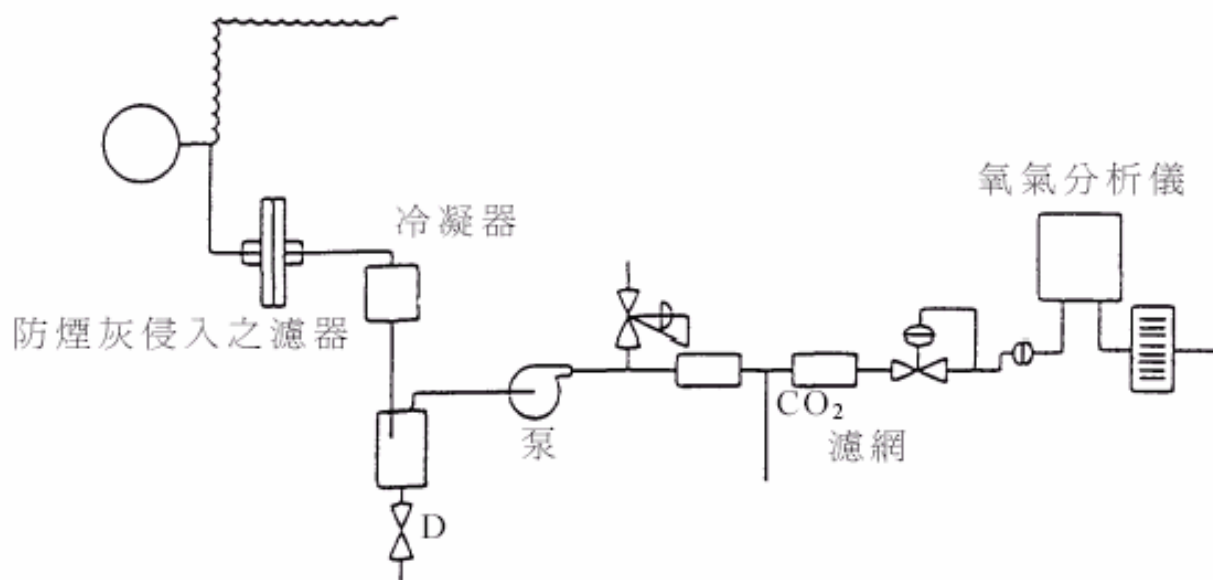


圖 2-16、工研院之圓錐量熱儀(CONE)之外觀圖



圖 2-17、建研所之圓錐量熱儀(CONE)之外觀圖



第三章 結果與討論

本文可依實驗方法不同區分為單材耐燃測試儀及圓錐量熱儀之試驗結果，在單材耐燃測試儀進行 7 種材料之實驗，如表 3-1 中編號 M01 ~ M07，其實驗結果可分成 4 個部分：(1) 熱釋放率(HRR)與時間之關係；(2) 總熱釋放量(THR)、火災成長率(FIGRA)與時間之關係；(3) 煙生成率(SPR)與時間之關係，以及(4) 總煙量及(TSP)與煙成長率(SMOGRA)。藉由不同材料之熱釋放率及煙生成率得知試體遇火反應之特性，而根據規範 EN13823，樣品後面必需墊著 12mm 之矽酸鈣板，主要功能是防止樣品燃燒過於劇烈而燃燒到設備或儀器，其中部份材料遇火反應特別激烈，所以作 1 組實驗需更換 1 組背板(如：合板)，通常背板大約是作 2~3 組實驗表面龜裂時進行更換；同時根據歐盟所規定之總熱釋放量及火災成長率，如表 1-1 所示，進行材料等級判別。另外在圓錐量熱儀中進行 15 種材料之實驗(其中 7 種材料與中尺寸實驗相同)，討論其熱釋放率與煙生成率。

表 3-1、試體主要組成成份

	材料名稱	主要組成成份	密度(kg/m ³)	厚度(mm)
綠建材	SIGMA 纖維水泥板	水泥、硅砂、賽璐璐纖維、無機強化纖維	1200	12
	三泰富士矽酸鈣板	天然石灰、矽酸鈣、賽璐璐纖維	950	18
奈米材料	陶板塗奈米 TiO ₂	無機的天然硅纖鹽礦土、奈米 TiO ₂	2000	4.2
複合材料	氧化鎂板	氧化鎂、氯化鎂、木屑、纖維	1100	9
	岩綿板	岩棉、澱粉、紙漿、膠合劑	400	12
複合材料	14.5mm 合板	柳桉木、磷系阻燃劑	690	14.5
	3.6mm 合板	柳桉木、磷系阻燃劑	670	3.6
奈米材料	陶板上奈米紅外線	無機的天然硅纖鹽礦土、奈米紅外線	2000	4.2
	陶板上奈米負	無機的天然硅纖鹽	2000	4.2

	離子	礦土、奈米負離子		
複合材料	玻璃纖維板	玻璃纖維、膠合劑	400	25
	石膏板	天然石膏、增強纖維	970	7
地板材料	南美紫檀	紫檀木	1000	18
	海島型南美紫檀	紫檀木、松木、白揚木、柳桉木	470	12
	緬甸柚木	柚木	650	18
	海島型緬甸柚木	柚木、松木、白揚木、柳桉木	540	12

第一節 單材耐燃測試儀之實驗結果

單材耐測試儀的實驗結果主要包含(1) 熱釋放率(HRR)與時間之關係；(2) 總熱釋放量(THR)、火災成長率(FIGRA)與時間之關係；(3) 煙生成率(SPR)與時間之關係，以及(4) 總煙量及(TSP)與煙成長率(SMOGRA)共 4 個部份，為了區隔每一個試體所以將個別的實驗結果放在一起，如圖 3-1~3-7，而每一張圖之左上角為熱釋放率(HRR)與時間之關係；右上角為總熱釋放量(THR)、火災成長率(FIGRA)與時間之關係；左下角為煙生成率(SPR)與時間之關係；右下角為總煙量及(TSP)與煙成長率(SMOGRA)之關係圖。

一、熱釋放率(HRR)

圖 3-1~3-7 之左上角的圖為熱釋放率與時間歷程之相關圖，其(a)、(b)、(c)分別為同 1 種材料之第一組測試、第二組測試及第三組測試之實驗結果，基本上 $t=0\sim 120$ 秒的時間內為系統在收集實驗環境基本資料，此段時間內不提供丙烷氣體，而當 $t=120$ 秒時，提供輔助燃燒器丙烷氣體質量流率約為 647 ± 50 mg/s，輔助燃燒器通丙烷後立即產生火焰，提供約 30.7 ± 2 kW 之熱量，等待 3 分鐘(180 秒)，此段時間內為收集丙烷燃燒時之熱釋放率，而總熱釋放率扣除主燃燒器燃燒丙烷所產生之熱釋放率即為試體燃燒時所釋放出來之熱釋放率。而 $t=300$ 秒時，主燃燒器啟動，提供丙烷氣體質量流率為 647 ± 50

mg/s，燃燒試體直到試驗結束($t=1560$ 秒；若實驗期間試體發生破裂、崩塌或經操作人員判斷會阻礙主燃燒器提供熱量時，可立即停止實驗)。

以纖維水泥板為例，圖 3-1 為纖維水泥板之熱釋放率與時間歷程之關係圖，圖 3-1(a)是纖維水泥板之第一次試驗，從圖中可觀察出熱釋放率曲線是呈現小幅震盪的情形，並隨著時間的增加熱釋放率曲線有上升的趨勢，但其上升的趨勢非常的緩慢，其熱釋放率峰值達到 1.4 kW；而圖 3-1(b)為纖維水泥板第二次測試，由圖中觀察出類似於圖 3-1(a)之情形，其相對熱釋放率峰值為 2.4 kW；而第三次實驗，如圖 3-1(c)亦是如此，最高相對熱釋放率為 2 kW 左右，三組材料之平均熱釋放率峰值為 1.93 kW，如表 3-2。表 3-2 綜整矽酸鈣板、陶板塗奈米負離子及氧化板之材料熱釋放率之峰值，由表中亦可發現，其熱釋放率峰值之結果亦是較低的，三種材料之實驗平均值分別為 1.4 kW、1.8 kW 及 1.5 kW，此結果亦表現出此四種材料有優異的耐燃性。

而岩棉板、14.5 mm 合板及 3.6 mm 合板之熱釋放率峰值則明顯高於前述四種材料，如圖 3-5、3-6、3-7 及表 3-2 所示，其平均峰值分別為 10.3、13.7 及 23.7 kW，由此可知，岩棉板及 14.5 mm 合板之耐熱性質在此 7 種材料是屬於中等，而 3.6 mm 合板則是耐熱性質最差的材料。以耐熱性最差之 3.6 mm 合板的複合材料為例，從圖 3-7 的實驗中發現 3.6 mm 之合板皆較前六種建材之相對熱釋放率峰值高上許多，而從表 3-2 中可得知三組合板之熱釋放率峰值；再由圖 3-7(a)之相對熱釋放率與時間之關係圖來觀察，發現在 $t=300$ 秒後(主燃燒器點火)，合板接觸到火焰長邊與短邊接合處即開始燃燒產生熱釋放率，其產生極為迅速，使得熱釋放率之曲線迅速上升出現第一個峰值，21 kW，接下來由於試體被燃穿所以有更明顯的燃燒現象，而導致第二個峰值，18 kW。而第二次及第三次的實驗過程亦是類似地，其詳細數據請看表 3-2。

表 3-2、材料之相對熱釋放率峰值比較表

材料名稱		厚度(mm)	熱釋放率(kW)峰值			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	1.4	2.4	2	1.93
	矽酸鈣板	18	1.4	0.8	2	1.4
奈米材料	陶板塗奈米 TiO ₂	4.2	0.8	3.6	1	1.8
複合材料	氧化鎂	9	2.2	0.8	1.6	1.5
	岩棉板	12	6	11	14	10.3
	14.5mm 合板	14.5	11	16	14	13.7
	3.6mm 合板	3.6	21	24	26	23.7

二、總熱釋放量(THR)與火災成長率(FIGRA)

圖 3-1(a)為燃燒纖維水泥板之總熱釋放量與火災成長率之關係圖，由圖中可以觀察出， $t=0\sim 300$ 秒同樣是收集實驗環境資料及燃燒丙烷熱值，而 $t=300\sim 1560$ 秒總熱釋放量及火災成長率由於試體材質的關係慢慢的累積增加，其趨勢穩定成長，最後在實驗停止時 $t=1560$ 秒總熱釋放量達到最高值 0.66 MJ、由於總熱釋放率非常地小，因此沒有到達火災成長率的計算標準，其值為 0；第二次及第三次總熱釋放量之結果與第一次實驗之結果皆相差不遠，如圖 3-1(a)、(b)，而三組纖維水泥板之平均總熱釋放量為 1.1 MJ、火災成長率亦為 0，詳細數據請參考表 3-3 及表 3-4 之總熱釋放量、火災成長率之整理表。圖 3-2(a、b、c)、3-3(a、b、c)及 3-4(a、b、c)為矽酸鈣板、陶板塗奈米負離子及氧化鎂之總熱釋放量與火災成長率之關係圖，由表 3-3 及表 3-4 中亦可發現各別的總熱釋放量更低只有 0.69 MJ、0.55 MJ 及 0.53 MJ，而火災成長率峰值亦為 0 (W/s)，此結果說明了纖維水泥板、矽酸鈣板、陶板塗奈米負離子及氧化鎂板之耐燃性皆相當的良好。由於

材料 300~900 秒內總熱釋放量(THR_{600s})小於 7.5 MJ 及火災成長率小於 120 W/s 的結果，則纖維水泥板、矽酸鈣板、陶板塗奈米負離子及氧化鎂板皆符合歐盟 A2/B 的等級標準，請參閱表 3-5 與表 3-6。

而岩棉板及 14.5mm 合板之總熱釋放量(THR_{600s})與火災成長率之關係圖(如圖 3-5(a、b、c)、3-6(a、b、c)所示)，總熱釋放量與火災成長率雖然都大於上述四種材料，但是其總熱釋放量與火災成長率均在歐盟 A2/B 等級的範圍內，參閱表 3-5 與表 3-6，所以是符合歐盟 A2/B 級。

3.6 mm 合板之總熱釋放量(THR_{600s})如表 3-5，但由於火災成長率已超過 120 W/s，三組實驗數值分別落在 127.7、130.3 及 173.4 W/s，如表 3-6，所以只符合歐盟 C 級的標準。

表 3-3、材料之總熱釋放量(THR)

材料名稱		厚度(mm)	總釋放量(MJ)			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	0.66	1.55	1.08	1.1
	矽酸鈣板	18	0.7	0.29	1.08	0.69
奈米材料	陶板表層塗附 TiO ₂	4.2	0.029	1.6	0.028	0.55
複合材料	氧化鎂板	9	0.84	0.19	0.56	0.53
	岩棉板	12	4	8	9.2	7.07
	14.5mm 合板	14.5	7.6	11.8	10.8	10.07
	3.6mm 合板	3.6	17	7.2	14	12.73

表 3-4、材料之火災成長率

材料名稱		厚度(mm)	火災成長率(W/s)			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	0	0	0	0
	矽酸鈣板	18	0	0	0	0
奈米材料	陶板表層塗附 TiO ₂	4.2	0	3	0	1
複合材料	氧化鎂板	9	0	0	0	0
	岩棉板	12	11.6	35	32.5	26.4
	14.5mm 合板	14.5	80	52	84	72
	3.6mm 合板	3.6	130	130	170	143.3

表 3-5、材料之總熱釋放量(THR_{600s})

材料名稱		厚度(mm)	總釋放量(THR _{600s})(MJ)			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	0.1	0.6	0.3	0.33
	矽酸鈣板	18	0.2	0.2	0.3	0.23
奈米材料	陶板表層塗附 TiO ₂	4.2	0	0.4	0	0.13
複合材料	氧化鎂板	9	0.1	0.1	0.2	0.13
	岩棉板	12	1.5	2.8	2.9	2.40
	14.5mm 合板	14.5	3.1	4.4	4.0	3.83
	3.6mm 合板	3.6	6.4	4.1	5.0	5.17

表 3-6、材料之火災成長率

材料名稱		組別	火災成長率(W/s)			
			FIGRA(0.2)	FIGRA(0.2) 達到時間	FIGRA(0.4)	FIGRA(0.4) 達到時間
綠 建 材	纖維水 泥板	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
	矽酸鈣 板	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
奈 米 材 料	陶板表 層塗附 TiO ₂	1	--	--	--	--
		2	3.0	1464	3.0	1464
		3	--	--	--	--
複 合 材 料	氧化鎂 板	1	--	--	--	--
		2	--	--	--	--
		3	--	--	--	--
	岩棉板	1	11.3	582	11.3	582
		2	35.9	396	33.6	447
		3	32.9	393	22.2	522
	14.5mm 合板	1	80.0	378	41.2	414
		2	51.8	393	48.8	453
		3	81.9	378	55.1	414
	3.6mm 合板	1	127.7	459	127.7	459
		2	130.3	477	130.3	477
		3	173.4	447	173.4	447

註：--表現未達到計算標準

三、煙生成率

圖 3-1(a)左下角為燃燒纖維水泥板的煙生成率與時間之相關圖，在 t=0~120 秒的時間內為收集實驗環境基本資料，且此時間內不提供丙烷氣體，所以由圖中 t=0~120 秒時間中的煙生成率的曲線為一穩定直線，而當 t=120 秒時，輔助燃燒器啟動，提供丙烷氣體質量流率 647 ± 50 mg/s 同時產生火焰，而 t=300 秒時，主燃燒器啟動，

同樣提供丙烷氣體質量流率為 647 ± 50 mg/s 產生火焰，燃燒試體直到試驗結束($t=1560$ 秒)，而隨著時間的增加煙生成率的曲線有上升的趨勢，但其上升的趨勢非常的緩慢，產生的煙亦很少(如表 3-7)，表示燃燒纖維水泥板幾乎是不產生煙的；第二次及第三次實驗亦是如此，幾乎沒有煙的產生。而圖 3-2(a、b、c)、3-3(a、b、c)及 3-4(a、b、c)之矽酸鈣板、陶板塗奈米負離子、氧化鎂板在燃燒後的煙產生率亦是小數點後兩位數的變化，基本上也是不會產生煙的建材主要是由於材料的組成成份為不燃物質所導致。圖 3-5(a、b、c)之岩棉板雖然有火災成長率但其燃燒過程中發煙量很低，其平均值為 $0.04(\text{m}^2/\text{s})$ 。

14.5mm 之合板及 3.6 mm 之合板的煙生成率的改變量雖然比上述兩種綠建材多，但其跳動的幅度亦很少，根據實驗觀察，發現合板於燃燒時僅僅是釋放出白煙，光的遮避性很小，其煙生成率平均改變量各別為 $0.168 \text{ m}^2/\text{s}$ 及 $0.257 \text{ m}^2/\text{s}$ (各組資料如表 3-7 所示)。

表 3-7、材料之煙生成率(m^2/s)峰值

材料名稱		厚度(mm)	煙生成率(m^2/s)			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	0.048	0.028	0.044	0.04
	矽酸鈣板	18	0.056	0.04	0.056	0.051
奈米材料	陶板表層塗附 TiO_2	4.2	0.04	0.024	0.06	0.04
複合材料	氧化鎂	9	0.09	0.082	0.12	0.097
	岩棉	12	0.048	0.04	0.048	0.045
	14.5mm 合板	14.5	0.23	0.23	0.044	0.168
	3.6mm 合板	3.6	0.24	0.13	0.4	0.257

四、總煙產生量(TSP_{600s})與煙成長率(SMOGRA)

而歐盟在規定建材等級時除了總熱釋放率(THR_{600s})及火災成長率外，還有對於煙的總產生量及煙成長率的分級，如表 1-1，其 s1 之煙總產生量(TSP_{600s})要小於 50 m²，而煙成長率(SMOGRA)則要小於 30 m²/s²；而 s2 則要求煙總產生量(TSP_{600s})要小於 200 m²，而煙成長率(SMOGRA)要小於 180 m²/s²；而在 s1 和 s2 範圍外的為 s3。

在表 3-8 及 3-9 中綜整了材料的總煙產生量及煙成長率的測試結果，7 種材料中除了 3.6 mm 合板超出 s1 的要求範圍外，其餘皆符合規範的要求，而 3.6 mm 合板則是符合歐盟 s2 的要求。

表 3-8、材料之總煙產生量(TSP₆₀₀)

材料名稱		厚度(mm)	總煙產生量(TSP ₆₀₀)(m ²)			
			1	2	3	三組平均
綠建材	纖維水泥板	12	12.7	7.2	10.2	10.0
	矽酸鈣板	18	13.8	11.6	16.0	13.8
奈米材料	陶板表層塗附 TiO ₂	4.2	0.4	1.0	0.7	0.7
複合材料	氧化鎂板	9	17.3	9.2	13.5	13.3
	岩棉板	12	14.1	18.2	16.8	16.4
	14.5mm 合板	14.5	36.9	35.5	2.6	25.0
	3.6mm 合板	3.6	85.6	28.9	106.1	73.5

表 3-9、材料之煙成長率(SMOGRA)

材料名稱		組別	煙成長率(m ² /s ²)	
			SMOGRA(0.2)	SMOGRA(0.2) 達到時間
綠 建 材	纖維水泥板	1	--	--
		2	--	--
		3	--	--
	矽酸鈣板	1	--	--
		2	--	--
		3	--	--
奈 米 材 料	陶板表層塗 附 TiO ₂	1	--	--
		2	--	--
		3	--	--
複 合 材 料	氧化鎂板	1	--	--
		2	--	--
		3	--	--
	岩棉板	1	--	--
		2	--	--
		3	--	--
	14.5mm 合 板	1	2.1	2038
		2	2.3	1254
		3	--	--
	3.6mm 合板	1	7.1	639
		2	6.4	495
		3	20.2	480

第二節 工業技術研究院(工研院)圓錐量熱儀之實驗結果

根據日本現行之分類標準進行材料分等，分類標準如表 3-10；而由於單材耐燃測試儀之材料是垂直擺設於排煙系統下，所以在圓錐量熱儀實驗部份將分成兩個部份，第一部份是試體垂直擺設；另一部份則是水平擺設，並且討論相同材料在單材耐燃測試儀、圓錐量熱儀-水平擺設及圓錐量熱儀-垂直擺設之相關性。

表 3-10、日本現行之分類標準

等級	火源大小	測試時間	最大熱釋放率	總熱釋放率
1	50kW/m ²	20 min	≤ 200 kW/m ²	≤ 8 MJ/m ²
2	50kW/m ²	10 min	≤ 200 kW/m ²	≤ 8 MJ/m ²
3	50kW/m ²	5 min	≤ 200 kW/m ²	≤ 8 MJ/m ²

一、熱釋放率-垂直擺設

圖 3-8~3-22 為 15 種材料垂直擺設之熱釋放率與時間歷程之關係圖。根據日本現行的分類標準進行材料之分級，實驗的 15 種材料之試驗結果綜合列表於表 3-11，依據實驗觀察發現其中有 6 種材料會被引燃，分別為 14.5 mm 合板、3.6 mm 合板、南美紫檀地板、海島型南美紫檀地板、緬甸柚木及海島型緬甸柚木，而這些可引燃材料中又以 14.5 mm 合板及 3.6 mm 合板有添加磷系阻燃劑最為特別，由圖 3-13 中可觀察出 14.5 mm 合板於燃燒時熱釋放率的變化，由圖中可以看出試體受到圓錐量熱儀之 50 kW/m² 之熱量後，熱釋放率隨之增加，雖然增加的幅度非常的緩慢，其主要是受到試體有添加阻燃劑之影響，但在 t = 600 秒時其總熱釋放量已經達到了 4.77~5.48 MJ/m² 接近 8 MJ/m² 的限制，如果 t = 1200 秒，其總熱釋放量則超出 8 MJ/m² 許多，所以依據日本對於圓錐量熱儀的分級標準，此種材料只符合 2 級；另一種添加阻燃劑之 3.6 mm 合板受熱後的熱釋放率時間歷程圖如圖 3-14 所示，由圖中可看出當試體受熱且被引燃之後，熱釋放率迅速的上升達到熱釋放率之峰值其值大約是在 124~199 kW/m² 不等，而且在短短的 300 秒鐘其總熱釋放量就已經超出 3 級的範圍了，所以 3.6 mm 合板是不符合圓錐量熱儀的分級標準(如表 3-10 所示)，會有此情形主要跟材料的厚度有關，由於其材料之阻燃劑是使用浸泡式，所以當試體厚度較厚時阻燃劑的含量會比較多，因此不容易被燒穿，而 3.6 mm 合板的厚度太薄，阻燃劑的含量相較於 14.5 mm 合板的含量是較少的，當試體被燒穿之後許多未被燃燒的材料暴露於輻射熱下裂解產生可燃氣體，當可燃氣體達到產生火焰的量時，引燃器點燃並迅速的起火燃燒產生熱釋放率之峰值，所以在阻燃劑含量不多的情形下，在 t =

300 秒的時間內總熱釋放率就已經 8 MJ/m^2 的限制了。而其餘 4 種會被引燃的地板材料之燃燒模式亦是有如同 3.6 mm 合板之處，只不過這 4 種地板材因為沒有添加阻燃劑，所以很容易就被 50 kW/m^2 的輻射熱源燒穿，加上試體比 3.6 mm 合板可燃的材料厚很多，所以表面一被燒穿之後，熱釋放率的峰值更是比 3.6 mm 合板的峰值高出太多，並且超出圓錐量熱儀等級分類的熱釋放率峰值不能超出 200 kW/m^2 的限制，因此不合格。而其它 9 種不燃材料更可以從圖中看出(如圖：3-8、3-9、3-10、3-11、3-12、3-15、3-16、3-17 及 3-18)，其熱釋放率皆非常的低，在 $t = 0 \sim 1200$ 秒之總熱釋放量均小於 8 MJ/m^2 之規定，如表 3-11，所以皆是符合 1 級。而會有此結果主要亦是受到其試體主要組成之成份所導致。

表 3-11、圓錐量熱儀之試驗結果-垂直擺設(CONE2)

材料名稱	等級	實驗時間 (s)	引燃時間 (s)	熱釋放率峰值 (kW/m^2)	熱釋放率峰值時間(s)	引燃 180 秒平均熱釋放率(kW/m^2)	總熱釋放量 (MJ/m^2)
SIGMA 纖維水泥板	1	1200	0	9.14	840	1.72	5.53
		1200	0	5.96	635	1.68	3.65
		1200	0	2.47	903	0	0
三泰富士矽酸鈣板	1	1200	0	3.69	214	1.05	0
		1200	0	3.85	77	1.68	0
		1200	0	10.29	1180	3.67	6.95
陶板上奈米 TiO_2	1	1200	0	0	0	0	0
		1200	0	1.21	1180	0	0
		1200	0	0.87	1128	0	0
氧化鎂板	1	1200	0	3.8	592	0.08	0
		1200	0	1.58	9	0	0
		1200	0	5.50	791	0.69	2.99
岩綿板	1	1200	0	10.91	36	6.83	2.76
		1200	0	9.25	28	6.32	4.03
		1200	0	11.33	244	7.42	6.05
14.5mm	2	600	--	13.116	578	50.71	4.77

合板		600	--	13.852	569	39.76	5.48
		600	--	16.491	597	29.08	5.07
3.6mm 合板	不合格	300	66.88	124.87	191.88	46.6	10.30
		300	46.31	199.23	83.31	47.12	12.09
		300	114.32	160.89	229.32	48.7	10.478
陶板上奈米紅外線	1	1200	0	0.96	2	0	0
		1200	0	0	0	0	0
		1200	0	0.8	1180	0	0
陶板上奈米負離子	1	1200	0	3.19	1187	0	0.09
		1200	0	1.10	685	0	0
		1200	0	0.41	1177	0	0
玻璃纖維板	1	1200	0	7.58	18	4.94	1.49
		1200	0	8.15	52	5.97	1.6
		1200	0	9.8	43	6.91	2.19
石膏板	1	1200	0	3.21	1155	0.57	0.19
		1200	0	13	122	0.44	0.1
		1200	0	7.03	895	0	0.38
南美紫檀地板	不合格	300	96.83	196.43	190.83	133.91	29.21
		300	91.98	197.96	182.98	136.06	30.39
		300	92.14	200.35	183.14	135.82	32.16
海島型南美紫檀地板	不合格	300	52.18	307.28	92.18	77.58	19.17
		300	44.23	281.75	77.23	82.76	21.03
		300	51.29	281.99	90.29	86.49	22.74
緬甸柚木地板	不合格	300	57.94	215.27	107.94	96.03	25.04
		300	63.74	244.31	121.74	101.55	24.99
		300	59.98	225.77	112.98	94.62	23.59
海島型緬甸柚木地板	不合格	300	41.35	308.38	69.35	90.75	25.13
		300	39.44	301.59	68.44	77.93	22.53
		300	42.3	294.52	73.3	75.13	20.98

二、熱釋放率-水平擺設

圖 3-23~3-37 為 15 種材料水平擺設之熱釋放率與時間歷程之關係圖。其實驗結果中除了 14.5 mm 合板有改變之外其它都是維持在原來的等級，而 14.5 mm 合板會有變化主要是因為，當試體垂直擺放時，試體暴露在 50 kW/m^2 之熱源時，由於垂直於抽氣系統所以照射

到輻射熱源所產生的可燃氣體溫度很高，而高溫的氣體浮力較大，所以會向上飄因此容易被抽氣系統直接排出，導致可燃氣體聚集在引燃器周圍非常不易，因此熱釋放率會較低，而當水平擺設時，由於引燃器就在試體上方，加上熱器擋住所以大部份的可燃氣體不易被直接抽氣系統排出，所以會比垂直擺設的實驗容易聚集可燃氣體在引燃器四周而產生火焰，其熱釋放率峰值基本上也會高於垂直擺設的實驗，而分級方面則是由垂直的 2 級降至 3 級，在 $t = 300$ 秒內的總熱釋放量在 $3.4\sim 5.5 \text{ MJ/m}^2$ 左右，其 15 種材料的試驗結果綜合列表於表 3-12 中。

表 3-12、圓錐量熱儀之試驗結果-水平擺設(CONE2)

材料名稱	等級	實驗時間 (s)	引燃時間 (s)	熱釋放率峰值 (kW/m^2)	熱釋放率峰值時間(s)	引燃 180 秒平均熱釋放率(kW/m^2)	總熱釋放量 (MJ/m^2)
SIGMA 纖維水泥板	1	1200	0	3.63	171	1.88	1.42
		1200	0	3.52	132	1.49	1.05
		1200	0	4.05	309	2.07	1.78
三泰富士矽酸鈣板	1	1200	0	4.03	75	2.20	0.76
		1200	0	3.86	83	2.04	0.62
		1200	0	2.80	137	0.80	0.18
陶板上奈米 TiO_2	1	1200	0	0.302	7	0	0
		1200	0	0.638	79	0	0
		1200	0	0.19	7	0	0
氧化鎂板	1	1200	0	3.60	594	0	0.22
		1200	0	6.26	601	1.03	1.40
		1200	0	3.55	287	0	0.33
岩綿板	1	1200	0	12.61	23	9.10	3.58
		1200	0	14.84	214	9.82	3.48
		1200	0	13.91	14	9.11	3.25
14.5mm 合板	3	300	39	75.52	68	16.88	5.54
		300	18	91.55	25	24.43	8.35
		300	21	81.58	32	14.86	4.44

3.6mm 合板	不合 格	300	25	295.33	39	73.7	25.3
		300	31	326.16	51	99.17	24.62
		300	25	259.21	41	91.23	24.18
陶板上奈 米紅外線	1	1200	0	3.25	2	0	0.00
		1200	0	1.65	1	0	0.00
		1200	0	2.4	1	0	0.00
陶板上奈 米負離子	1	1200	0	1.48	3	0	0.00
		1200	0	2.7	1	0	0.00
		1200	0	1.17	1	0	0.00
玻璃纖維 板	1	1200	0	4.32	2	1.71	0.00
		1200	0	6.53	84	3.09	1.17
		1200	0	6.07	150	2.83	1.03
石膏板	1	1200	0	1.8	2	0	0
		1200	0	0.11	420	0	0
		1200	0	1.31	393	0	0
南美紫檀 地板	不合 格	300	33	332.74	66	198.24	47.84
		300	34	297.55	58	171.36	51.74
		300	24	247.15	55	180.05	45.38
海島型南 美紫檀地 板	不合 格	300	34	398.11	54	79.28	21.77
		300	32	348.62	52	89.87	23.88
		300	38	361.69	64	82.64	23.31
緬甸柚木 地板	不合 格	300	20	205.19	48	97.16	25.34
		300	29	182.20	58	104.28	27.26
		300	44	274.75	80	92.35	25.14
海島型緬 甸柚木地 板	不合 格	300	19	254.74	32	78.29	23.17
		300	17	429.57	24	101.28	25.30
		300	18	519.46	26	102.48	25.75

三、圓錐量熱儀-垂直擺設與水平擺設之 180 秒熱釋放率之相關性

根據 ASTM 1354、ISO 5660 及 CNS 14705 之規範內容，因此在圓錐量熱儀之垂直擺設與水平擺設的討論中將針對試體 180 秒平均之熱釋放率進行分析。如圖 3-38(a)是將兩種不同擺設所實驗出來的結果畫圖，再以一維方程式取線性回歸，發現其相關性是很大的，當 $y = 0.851 + 0.784x$ 時， $R^2 = 0.950$ ($R = 1$ 為完全相同)，此結果亦可證明相同的材質不管在垂直或水平試驗上，在 180 秒內的平均熱釋放率

會有差異性；接著圖 3-38(b)是在不考慮 14.5 mm 合板、3.6 mm 合板、南美紫檀地板及海島型緬甸柚木之 180 秒平均熱釋放率的情況下，而排除此四種材料主要是因為垂直擺放與水平擺放之峰值時間相差太大所以忽略，再做一次線性回歸， $R^2 = 0.998$ 。

四、圓錐量熱儀-垂直擺設與水平擺設之火災成長率之相關性

根據 1999 年 Tsantaridis 與 Ostman【12】的文獻中，圓錐量熱儀之火災成長率(Fire Growth Rate, FIGRA)為熱釋放率峰值除以其發生時間。而表 3-13、3-14 是將 15 種材料的熱釋放率經由下列之公式轉換為火災成長率並進行分析。而轉換過之火災成長率作圖取線性回歸後，發現在 R^2 只有 0.826，如圖 3-39，這也說明了，垂直擺設與水平擺設的點燃時間是有差異的，再由表 3-11 及 3-12 可以發現可燃物質垂直擺設的實驗其引燃時間比水平擺設的實驗來得慢，其主要就是試體受熱後產生高溫度的可燃氣體，而受到熱氣浮力較大的影響可燃氣體容易被抽氣系統直接抽出，所以垂直擺設的實驗會比較難聚集可燃氣體在引燃器周圍，因此引燃的時間自然就會比水平擺放的實驗久。

$$\text{FIGRA}(\text{Cone}) = 1000 \times (\text{HRR} / t)$$

其中：FIGRA 為火災成長率 (W/s)

HRR 為熱釋放率之峰值(kW)

t 為熱釋放率峰值之時間(s)

表 3-13、圓錐量熱儀-垂直擺設(CONE2)之火災成長率

材料名稱	厚度(mm)	火災成長率(W/s)			
		1	2	3	三組平均
纖維水泥板	12	0.109	0.094	0.027	0.077
矽酸鈣板	18	0.172	0.500	0.287	0.253
陶板上奈米 TiO ₂	4.2	0	0.010	0.008	0.006
氧化鎂	9	0.064	1.756	0.070	0.630
岩棉	12	3.031	3.304	0.464	2.266
14.5mm 合板	14.5	0.227	0.243	0.276	0.249

3.6mm 合板	3.6	6.508	23.914	7.016	12.479
陶板上奈米紅 外線	4.2	4.8	0	0.007	1.602
陶板表層塗附 負離子	4.2	0.026	0.016	0.003	0.016
玻璃纖維板	25	4.211	1.567	2.279	2.686
石膏板	7	0.028	1.066	0.079	0.391
南美紫檀地板	18	10.294	10.819	10.940	10.684
海島型南美紫 檀地板	12	33.335	36.482	31.232	33.683
緬甸柚木地板	18	19.943	20.068	19.983	19.998
海島型緬甸柚 木地板	12	44.467	44.066	40.180	42.905

表 3-14、圓錐量熱儀-水平擺設(CONE2)之火災成長率

材料名稱	厚度 (mm)	熱釋放率(kW)			
		1	2	3	三組 平均
纖維水泥板	12	0.212	0.267	0.131	0.203
矽酸鈣板	18	0.537	0.465	0.204	0.402
陶板上奈米 TiO ₂	4.2	0.431	0.081	0.271	0.261
氧化鎂	9	0.061	0.104	0.124	0.096
岩棉	12	5.483	0.693	9.935	5.371
14.5mm 合板	14.5	11.11	36.62	25.49	24.41
3.6mm 合板	3.6	75.73	63.95	63.22	67.63
陶板上奈米紅 外線	4.2	16.25	16.5	24	18.917
陶板表層塗附 負離子	4.2	4.933	27	11.7	14.54
玻璃纖維板	25	21.6	0.777	0.405	7.594
石膏板	7	9	0.003	0.033	3.01
南美紫檀地板	18	50.42	51.30	44.94	48.88
海島型南美紫 檀地板	12	73.724	67.04	56.51	65.76

緬甸柚木地板	18	42.748	31.41	34.34	36.17
海島型緬甸柚木地板	12	79.61	178.99	199.79	152.80

第三節 內政部建築研究所(建研所)與工研院圓錐量熱儀水平擺設之實驗結果比對分析

建研所之圓錐量熱儀之實驗結果綜整如表 3-15，其熱釋放率峰值與工研院的實驗結果作圖並用線性回歸之方式求其相關性，發現其相關性高於 8 成，如圖 3-40 所示， R^2 為 0.888，在圖中亦可觀察出，於工研院之圓錐量熱儀之熱釋放率峰值明顯大於建研所之實驗結果，其原因主要是實驗儀器不同所導致，如工研院與建研所之圓錐量熱儀之差異節所述，工研院為 ATLAS 之機台，其空氣供給是屬於間接的方式，而且空氣在供給給試體燃燒之前會先預熱。而建研所之圓錐量熱儀為 FTT 之機台，其玻璃阻隔的範圍大約 ATLAS 機台的一半左右，而燃燒所需之空氣會直接接觸到試體，補給之空氣溫度明顯低於燃燒時之試體溫度，所以其燃燒室溫度與 ATLAS 機台燃燒室溫度有差異性，因此會造成建研所之熱釋放峰值低於工研院之結果。而圖 3-41 則是將建研所與工研院 180 秒之熱釋放率之實驗結果作圖，再取線性回歸發現其相關性 $R^2 = 0.903$ ，所以兩台機台做相同材料的實驗結果的相關性是相當高的，從圖中亦可觀察出工研院之實驗結果高於建研所，而此結果亦可從圖 3-42 及圖 3-43 之 PMMA(標準片) 熱釋放率與時間之關係圖及海島型南美紫檀熱釋放率與時間之關係圖觀察出。圖 3-44 為相同材料在工研院與建研所之圓錐量熱儀之引燃時間比較圖，從圖中可看出由於機台的不同，所以工研院的圓錐量熱儀之引燃時間會快於建研所。雖然 ATLAS 與 FTT 之機台有通風條件不同的效應，但是由於兩台機台之相關性皆高於 8 成以上，而且在等級分類上兩機台之實驗結果相當的一致(如表 3-12 及表 3-15)，因此在討論圓錐量熱儀與單材耐燃測試儀之熱釋放率中無論方面使用那一台的數據

都是可行的，而接下來是選擇工研院垂直及水平實驗數據作進一步的討論。

圖 3-45 至 3-59 為材料燃燒後之煙產生率與時間之關係圖，由圖中可發現 14.5 mm、3.6 mm 合板、南美紫檀、海島型南美紫檀、緬甸柚木及海島型緬甸柚木的煙產生率較高之外，其餘不可燃之材料基本上煙產生率是非常小，其煙產生率峰值綜整於表 3-15 中，而除 14.5 mm 合板煙產生率峰值介於 19.46 ~ 64.20 m²/s 及 3.6 mm 合板的煙產生率峰值介於 66.44 ~ 88.62 m²/s 外，南美紫檀、海島型南美紫檀、緬甸柚木及海島型緬甸柚木四種材料之煙產生率峰值則介於 192 ~ 322 m²/s 之間，其它的材料皆低於 15 m²/s。而由於工研院圓錐量熱儀機台之實驗資料並沒有煙產生率只有發煙係數，所以在比較煙產生率方面則是使用建研所圓錐量熱儀之數據。

表 3-15、建研所圓錐量熱儀之實驗結果(CONE3)

材料名稱	等級	實驗時間 (s)	引燃時間 (s)	熱釋放率峰值 (kW/m ²)	熱釋放率峰值時間(s)	引燃 180 秒平均熱釋放率(kW/m ²)	總熱釋放量 (MJ/m ²)	煙產生率峰值 (m ² /s)
SIGMA 纖維水泥板	1	1200	0	7.534	170	2.15	5.31	3.93
		1200	0	7.145	168	2.72	6.02	2.68
		1200	0	5.468	178	1.25	3.47	3.01
三泰富士矽酸鈣板	1	1200	0	4.017	90	1.10	3.36	0.02
		1200	0	6.168	136	1.42	4.64	1.98
		1200	0	4.811	127	1.57	4.47	0.07
陶板上奈米 TiO ₂	1	1200	0	2.496	16	0.10	0.04	0
		1200	0	4.158	86	0.93	2.39	8.72
		1200	0	1.963	0	0.01	0.02	0.05
氧化鎂板	1	1200	0	3.324	144	0.57	1.79	2.56
		1200	0	3.693	169	0.29	1.66	0.50
		1200	0	5.334	56	1.18	4.16	2.53
岩綿板	1	1200	0	10.564	76	5.01	6.72	4.29
		1200	0	8.875	78	4.29	6.87	13.28

		1200	0	12.492	82	6.44	9.60	8.50
14.5mm 合板	3	300	55	46.027	75	19.07	4.96	19.46
		300	66	16.135	66	5.38	2.08	55.51
		300	67	45.003	78	12.22	2.82	64.20
3.6mm 合 板	不合 格	300	100	108.85	162	36.87	11.00	88.62
		300	102	124.522	162	51.74	11.24	76.08
		300	81	134.48	156	44.66	14.01	66.44
陶板上奈 米紅外線	1	1200	0	6.966	169	2.31	9.59	0
		1200	0	5.487	156	1.08	2.77	0.15
		1200	0	6.721	77	2.26	2.08	2.76
陶板上奈 米負離子	1	1200	0	1.409	11	0.05	0.02	0
		1200	0	4.294	64	1.02	2.39	3.72
		1200	0	1.615	18	0.05	0.02	0.02
玻璃纖維 板	1	1200	0	13.179	86	8.52	8.15	0.35
		1200	0	10.746	88	5.04	7.11	3.43
		1200	0	9.425	98	5.67	9.60	3.12
石膏板	1	1200	0	4.234	38	1.37	3.16	3.19
		1200	0	7.941	122	2.37	5.12	0.62
		1200	0	5.58	138	1.41	3.18	0.06
南美紫檀 地板	不合 格	300	59	194.45	72	102.82	32.50	257.74
		300	60	210.38	87	100.94	31.30	212.11
		300	73	235.88	92	85.78	28.28	256.59
海島型南 美紫檀地 板	不合 格	300	44	278.18	52	82.57	22.33	202.19
		300	53	192.73	62	61.31	24.53	123.43
		300	52	219.17	62	69.31	22.04	243.49
緬甸柚木 地板	不合 格	300	41	265.00	54	90.84	25.03	263.35
		300	46	248.09	60	91.76	26.06	206.54
		300	46	261.92	58	81.32	22.46	239.23
海島型緬 甸柚木地 板	不合 格	300	41	307.70	48	78.25	20.42	196.69
		300	44	322.37	52	79.95	21.10	253.26
		300	40	284.66	48	87.46	24.26	157.42

第四節 單材耐燃測試儀及圓錐量熱儀之實驗結果分析及探討

將圓錐量熱儀的熱釋放率峰值乘以單位面積使其單位與單材耐燃測試儀之熱釋放率峰值相同，來進行熱釋放率峰值的分析，圖 3-60(a)為單材耐燃測試儀的熱釋放率峰值與圓錐量熱儀-垂直擺設的熱釋放率峰值的關係圖，取一維方程式 $y = a + bx$ 的線性回歸，觀測兩者的熱釋放率峰值相關性，發現其 R^2 僅僅只有 0.730；接著將峰值發生時間差異性較大 14.5 mm 合板剔除在外(如表 3-11 所示)，再做一次線性回歸，發現其相關性明顯的向上提升， $R^2 = 0.878$ ，如圖 3-60(b)。而圖 3-61(a)為單材耐燃測試儀的熱釋放率峰值與圓錐量熱儀-水平擺設的熱釋放率峰值的關係圖，圖 3-61(b)同樣是不討論 14.5mm 合板做線性回歸，發現其結果亦是跟圓錐量熱儀-垂直擺設之結果相似， R^2 由 0.844 提升至 0.876。由此亦可得知在中尺寸與小尺寸-垂直擺設在方程式 $y = 2.637 + 13.178x$ 有接近 $R^2 = 0.878$ 之關聯關係；而中尺寸與小尺寸-水平擺設在方程式 $y = 2.960 + 7.14x$ 有接近 $R^2 = 0.876$ 之關聯關係。

如圖 3-62(a)為取單材耐燃測試儀的火災成長率與圓錐量熱儀-垂直擺設的火災成長率 7 種材料之數據作圖，同樣是使用一維方程式 $y = a + bx$ 作線性回歸， $R^2 = 0.766$ ，再由程式得知 $a = 10.729$ 、 $b = 10.501$ ，由表 3-11 中可得知，14.5 mm 合板主要熱釋放峰值的時間集中在 570-597 秒左右與水平擺設之點火時間相差太大，而火災成長率跟峰值發生時間有絕對的關係，所以將 14.5 mm 合板忽略，如圖 3-62(b)，當忽略 14.5 mm 合板的火災成長率時，其 $R^2 = 0.997$ ，明顯的提高了兩者之間的關聯性；而圖 3-63(a)與圖 3-63(b)的則是單材耐燃測試儀的火災成長率與圓錐量熱儀-水平擺設的火災成長率之關係圖，其結果亦是如同圖 3-62(a)、(b)之關係， R^2 從 0.851 提升至 0.986。

由中尺寸與小尺寸-垂直與水平擺設的實驗結果可發現，其單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀之火災成長率的關係比熱釋放率峰值的關

聯性高，而造成此結果的關鍵在於試體的峰值發生時間，如果試體是不燃材質影響不大，因為沒有引燃時間的問題；若試體是可燃材質，其峰值發生的時間會因為其擺設方式不同而有所改變，也甚至會影響到其材料的等級，如表 3-16 及表 3-17 中 14.5 mm 之合板，因此單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀之關係與位置擺放有很大的關聯性。

圖 3-64 為單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀之煙產生率峰值作圖並取線性回歸，由圖中可看出兩者的關聯性相當的大， $R^2 = 0.9285$ ，所以中尺寸與小尺寸的實驗的發煙情形是相當類似的。

表 3-16、SBI 與 CONE-垂直擺放之試驗結果等級分類

SBI \ CONE 垂直擺設	A2/B	C	D
1	矽酸鈣板 纖維水泥板 陶板塗附 TiO ₂ 氧化鎂板 岩棉板	--	--
2	14.5 mm 合板	--	--
3	--	--	--
不合格	--	3.6 mm 合板	--

表 3-17、SBI 與 CONE-水平擺放之試驗結果等級分類

SBI \ CONE 水平擺設	A2/B	C	D
1	矽酸鈣板 纖維水泥板 陶板塗附 TiO ₂ 氧化鎂板 岩棉板	--	--
2	--	--	--
3	14.5 mm 合板	--	--
不合格	--	3.6 mm 合板	--

圖 3-1 (a)、第一組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果

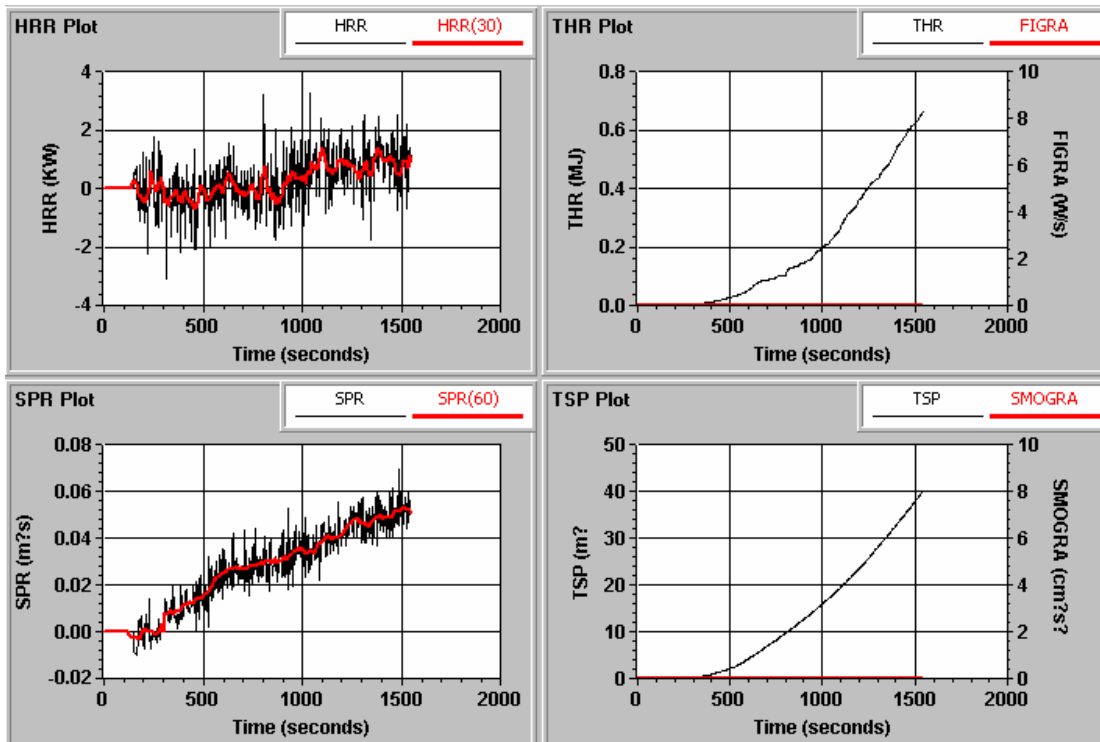


圖 3-1 (b)、第二組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果

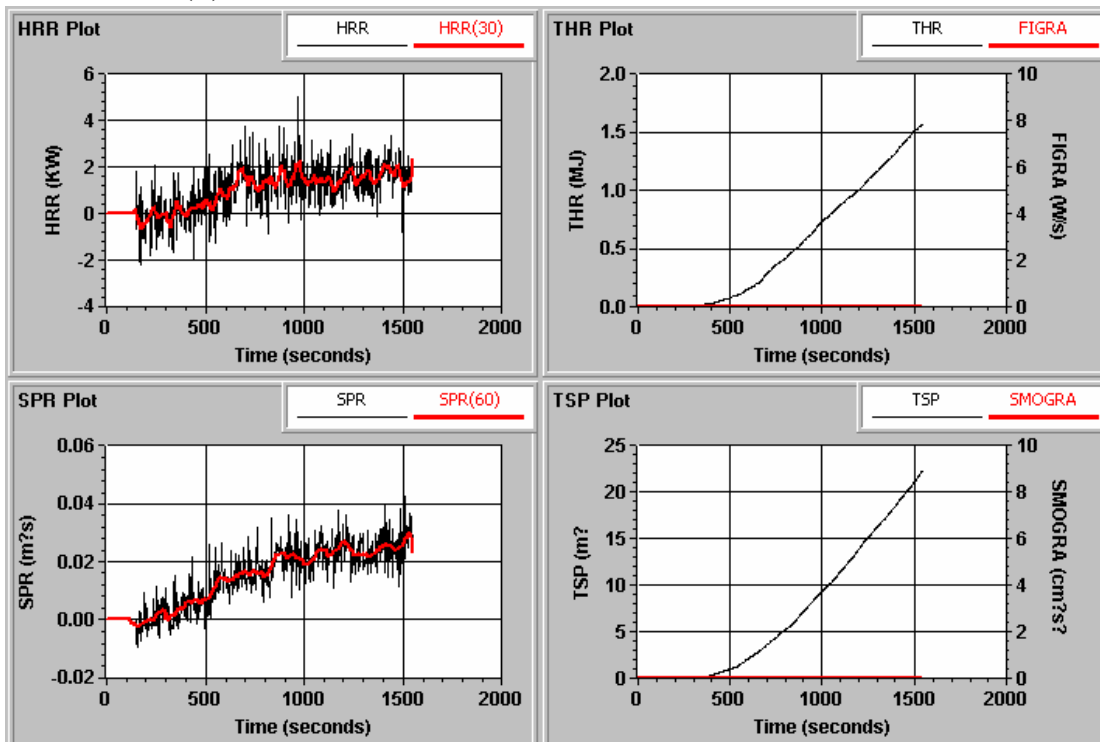


圖 3-1 (c)、第三組纖維水泥板之單材耐燃測試儀之實驗結果

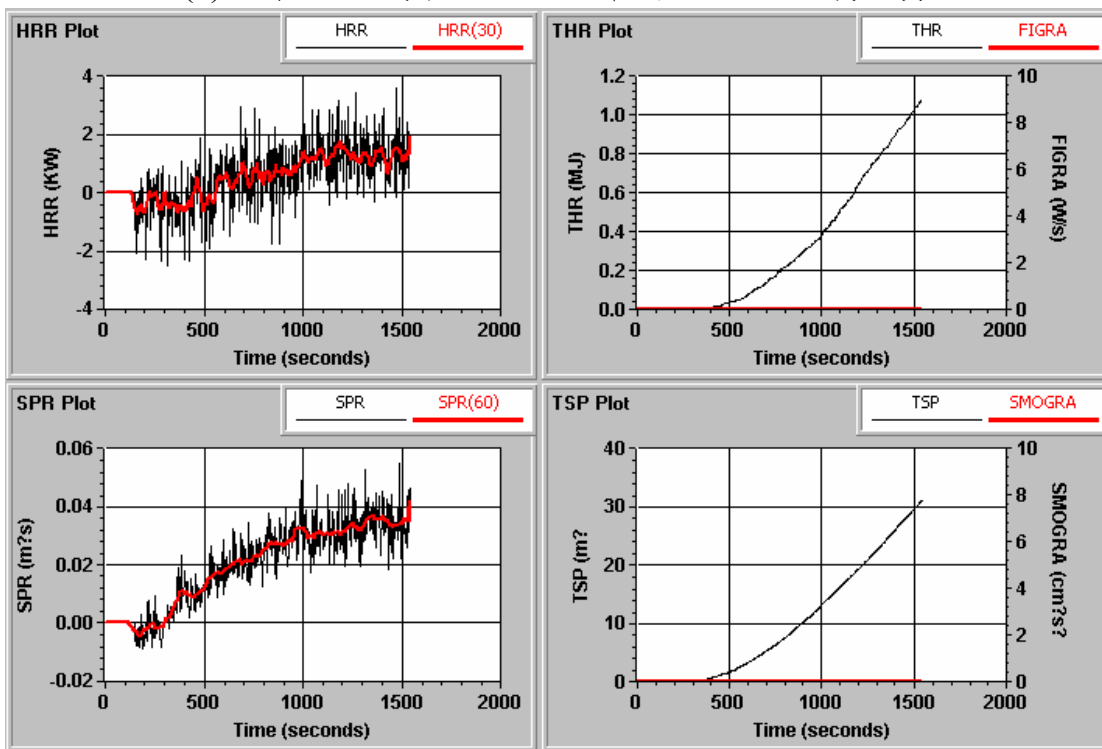


圖 3-2(a)、第一組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果

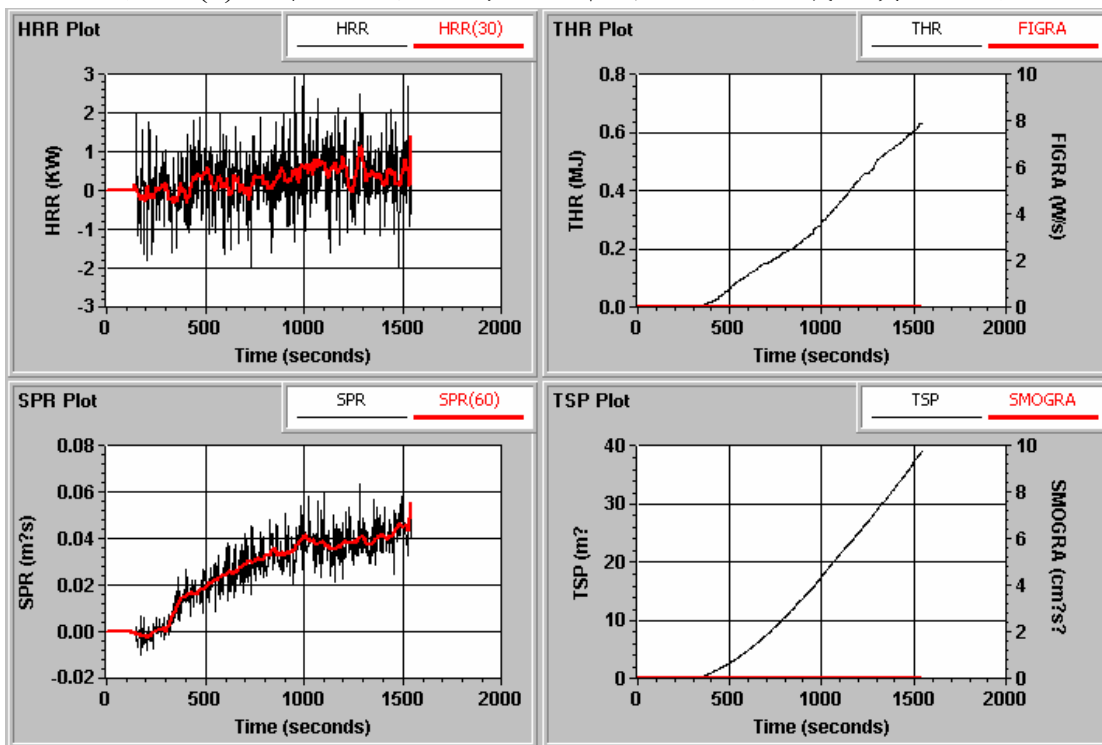


圖 3-2(b)、第二組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果

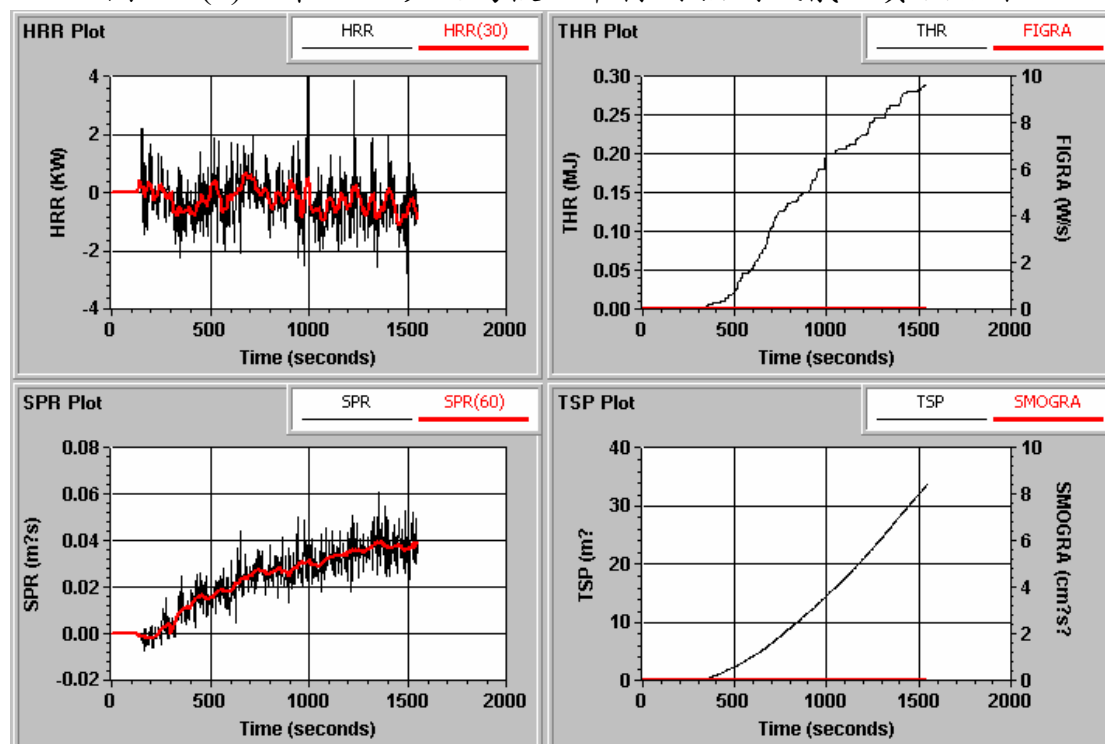


圖 3-2(c)、第三組矽酸鈣板之單材耐燃測試儀之實驗結果

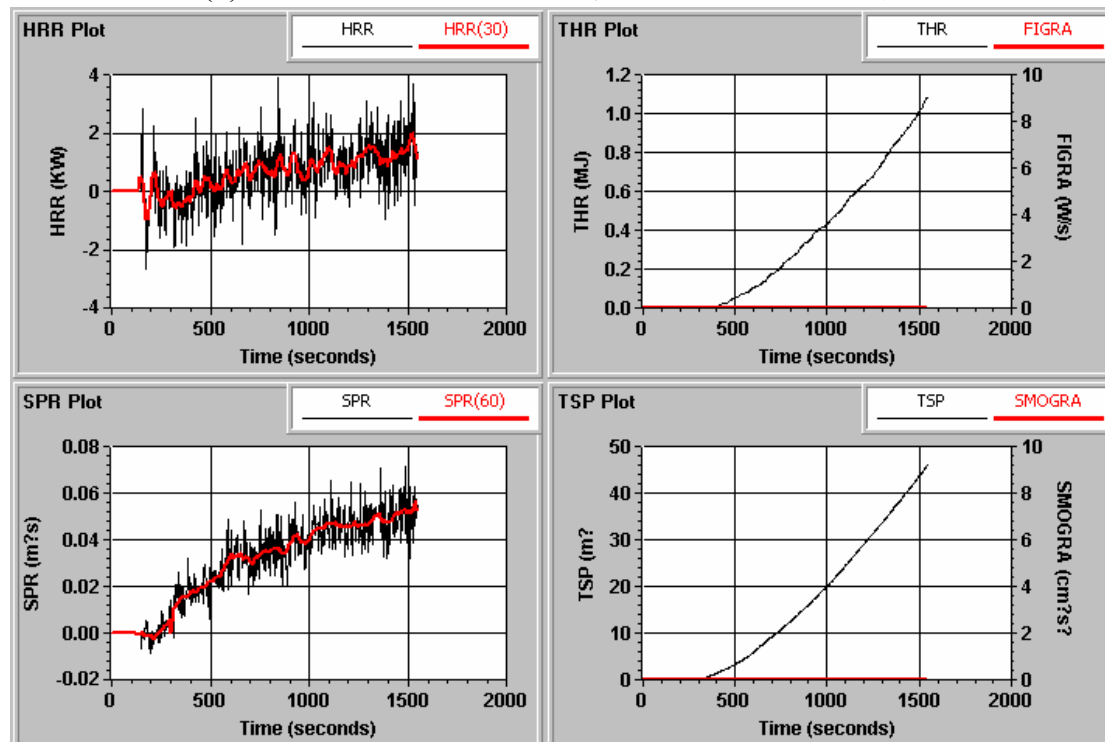


圖 3-3(a)、第一組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果

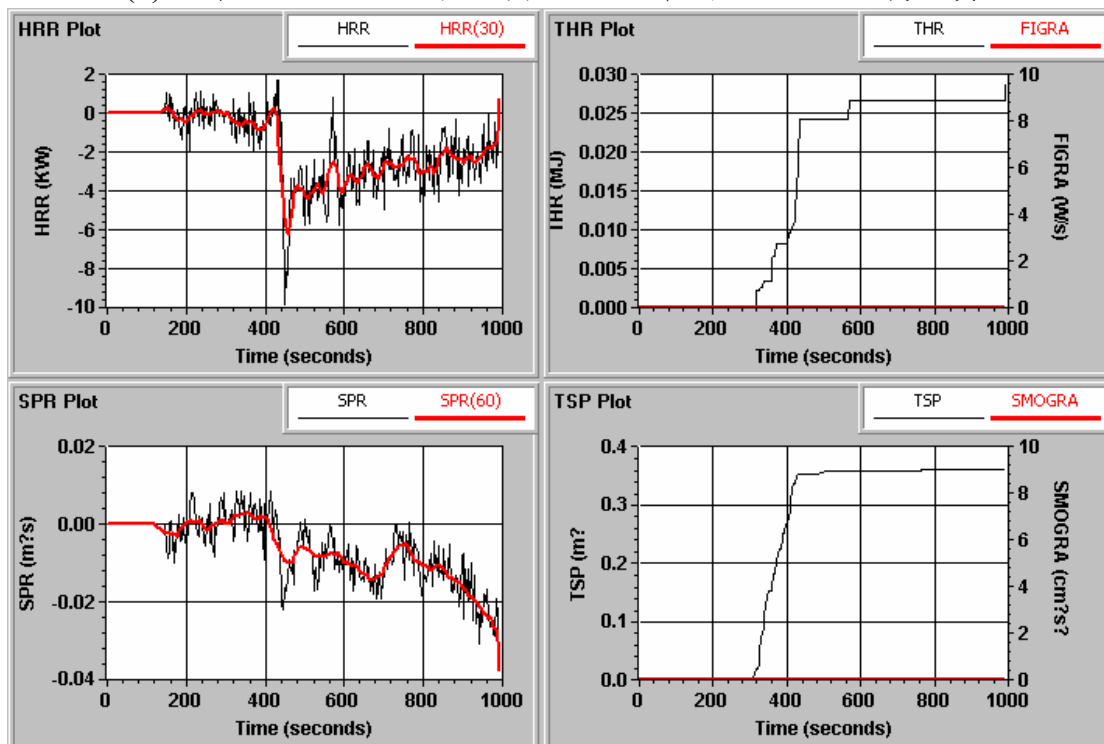


圖 3-3(b)、第二組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果

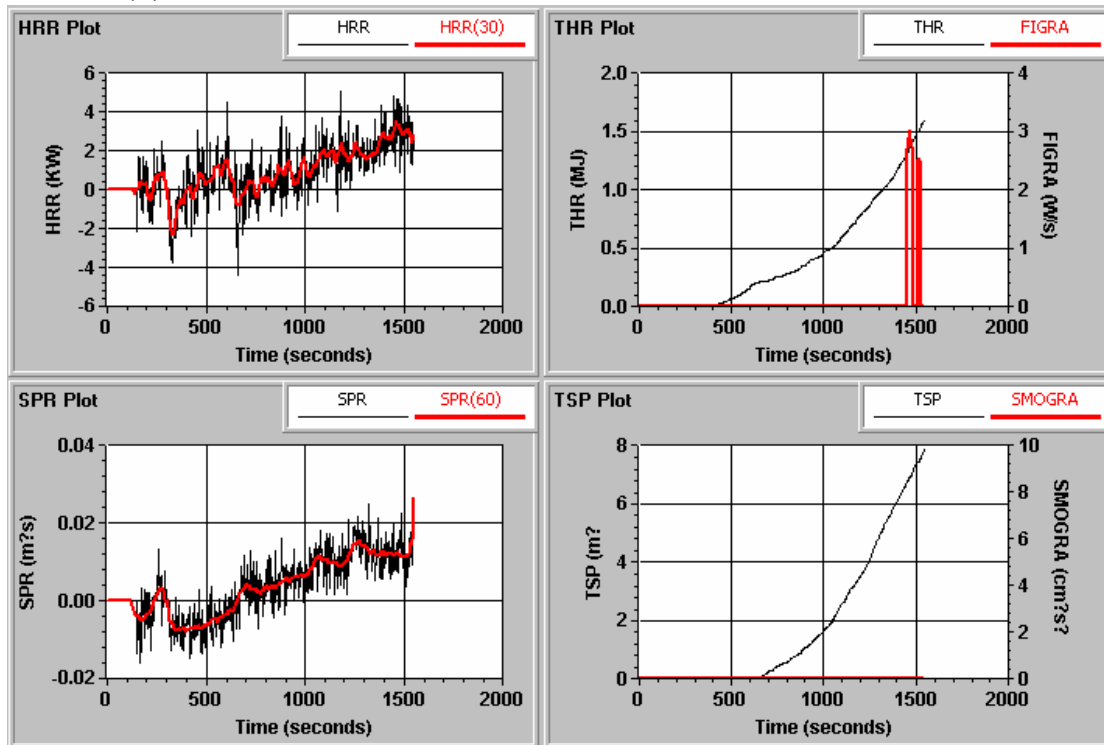


圖 3-3(c)、第三組陶板塗奈米負離子之單材耐燃測試儀之實驗結果

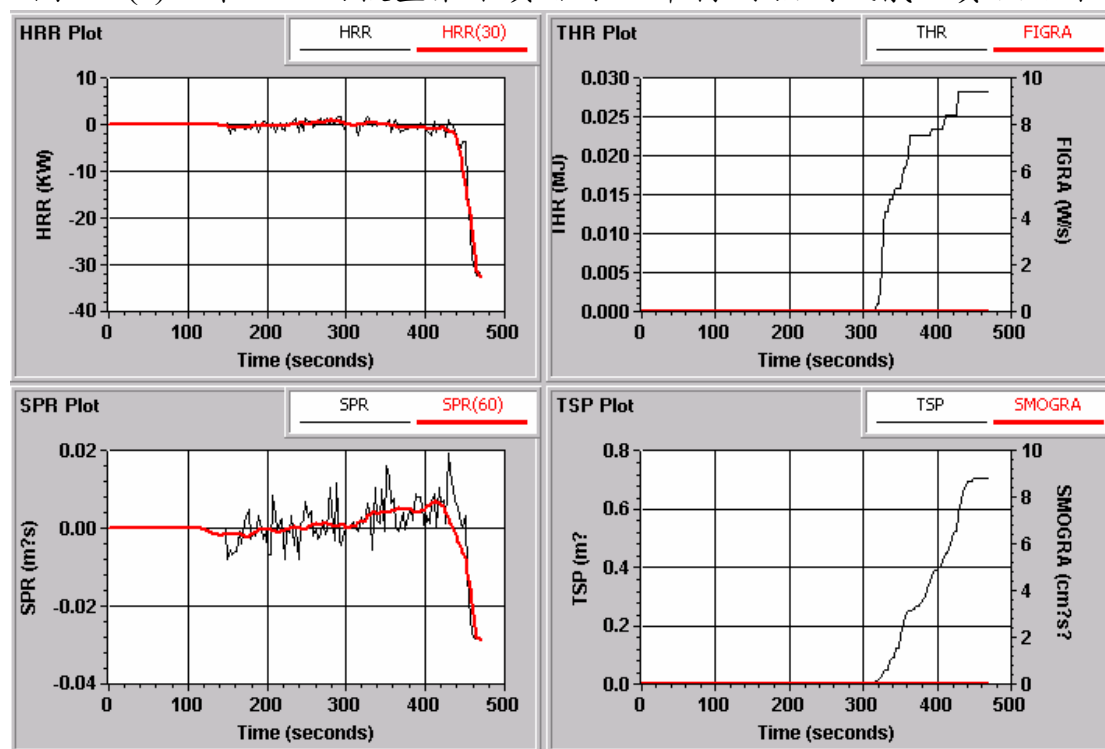


圖 3-4(a)、第一組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果

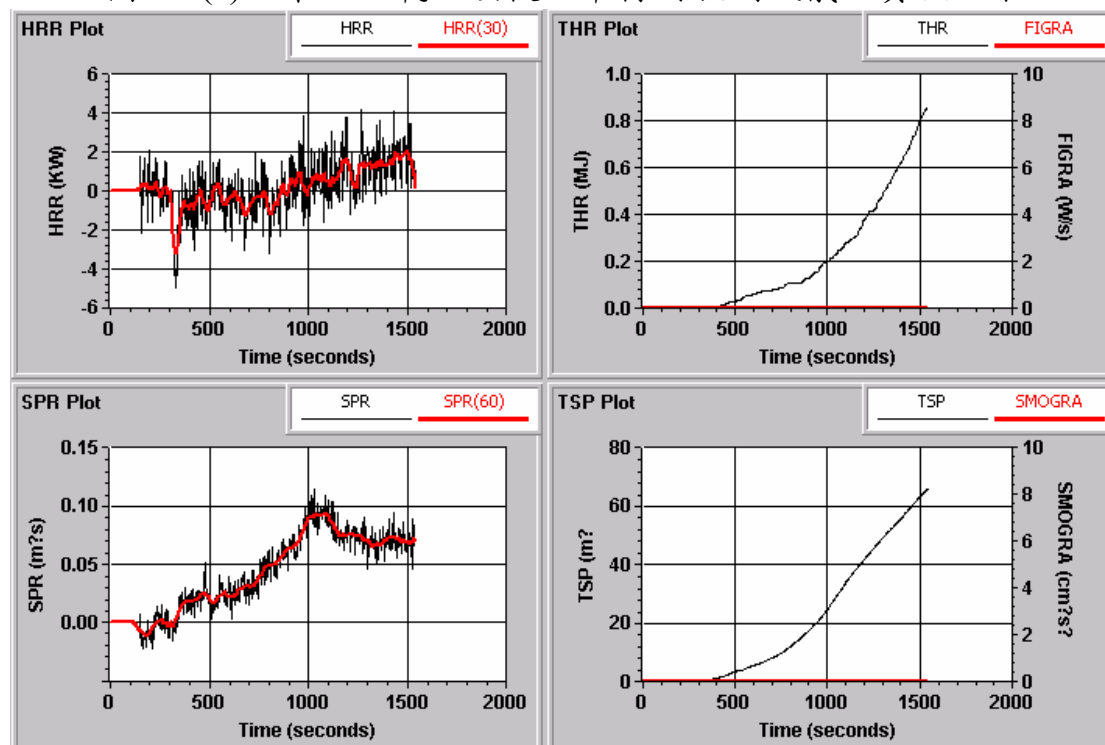


圖 3-4(b)、第二組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果

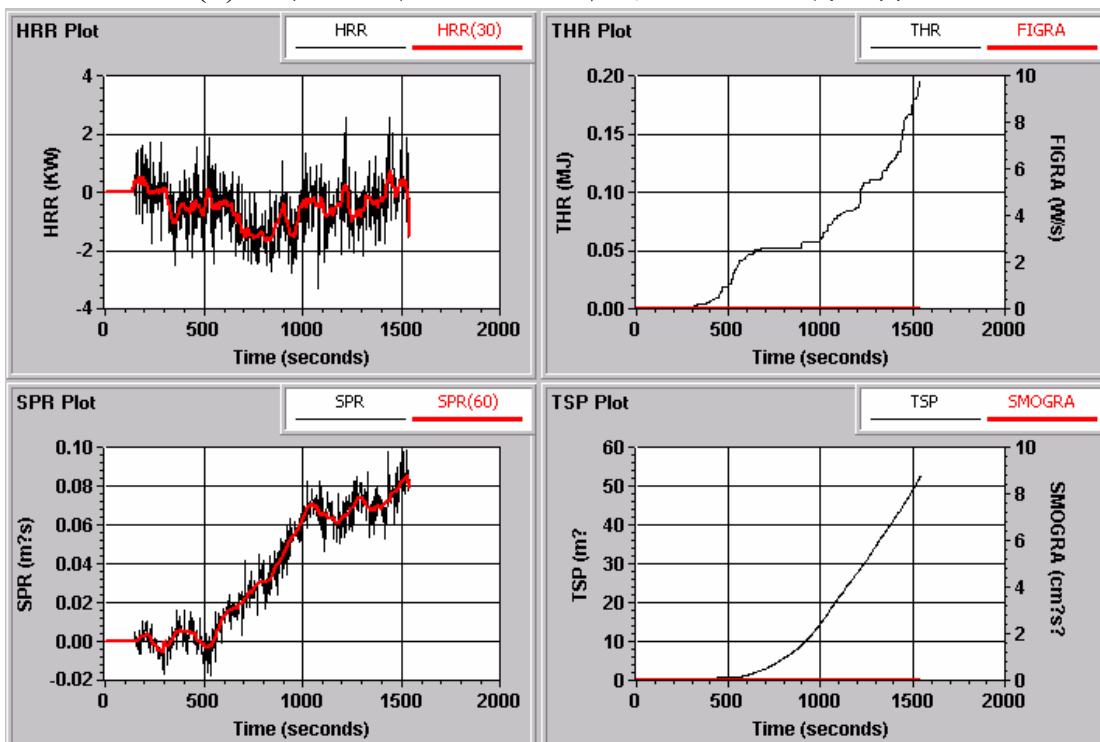


圖 3-4(c)、第三組氧化鎂板之單材耐燃測試儀之實驗結果

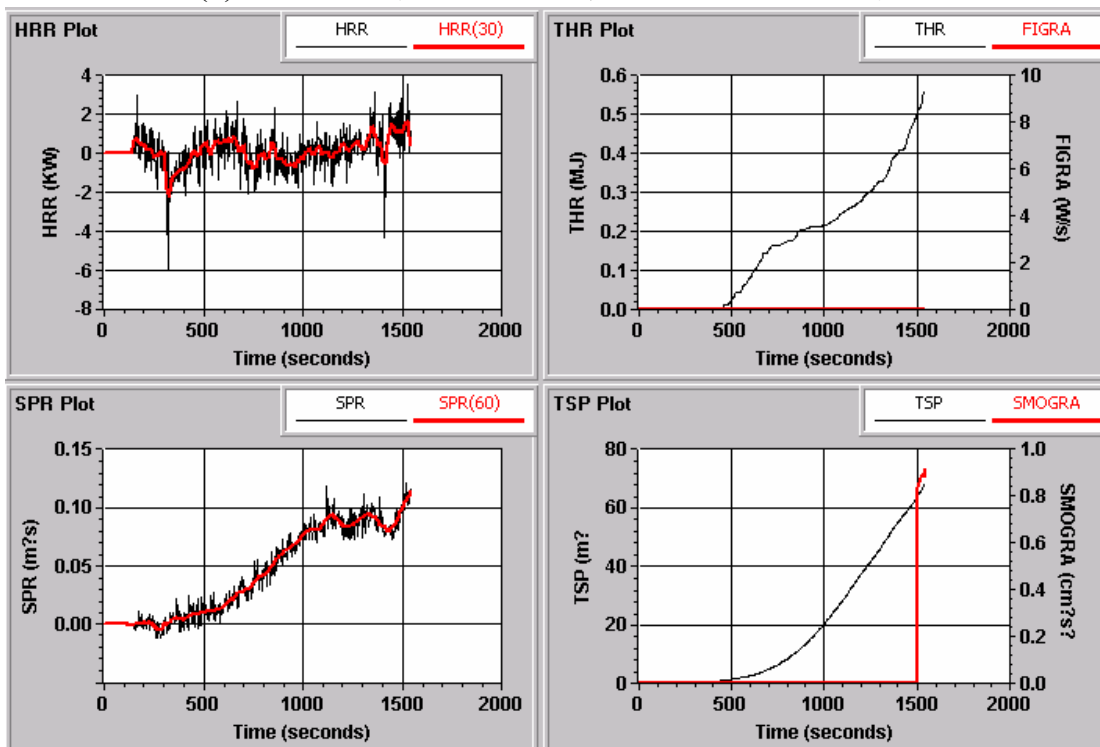


圖 3-5(a)、第一組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果

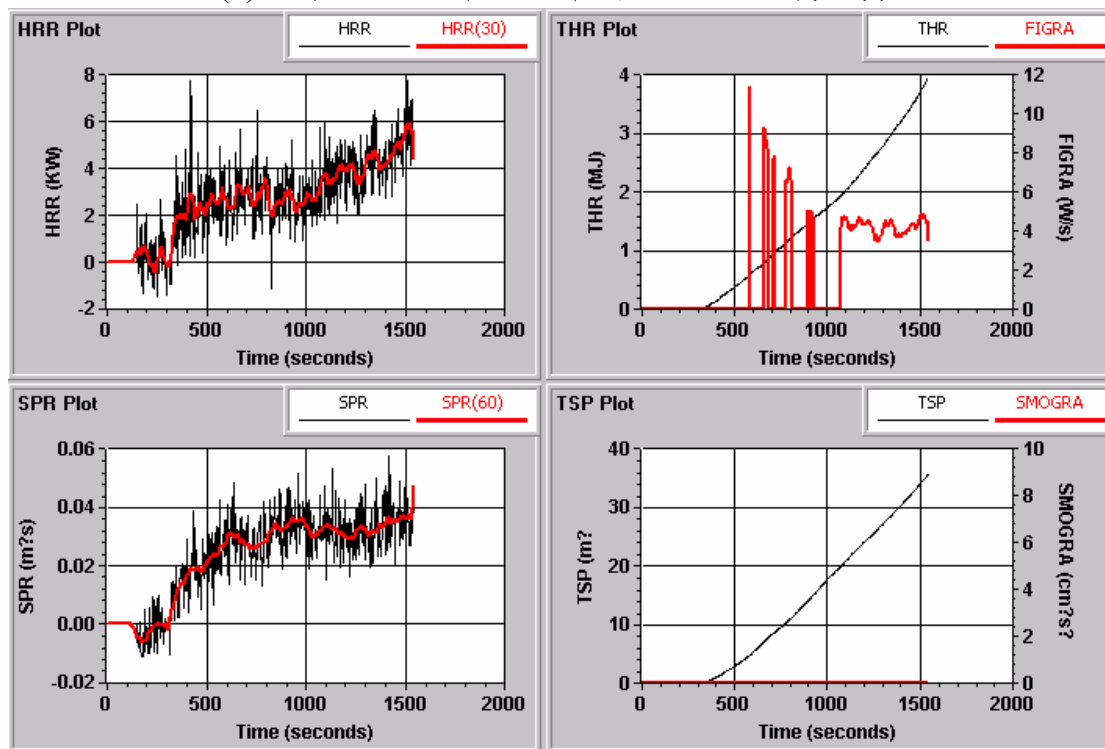


圖 3-5(b)、第二組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果

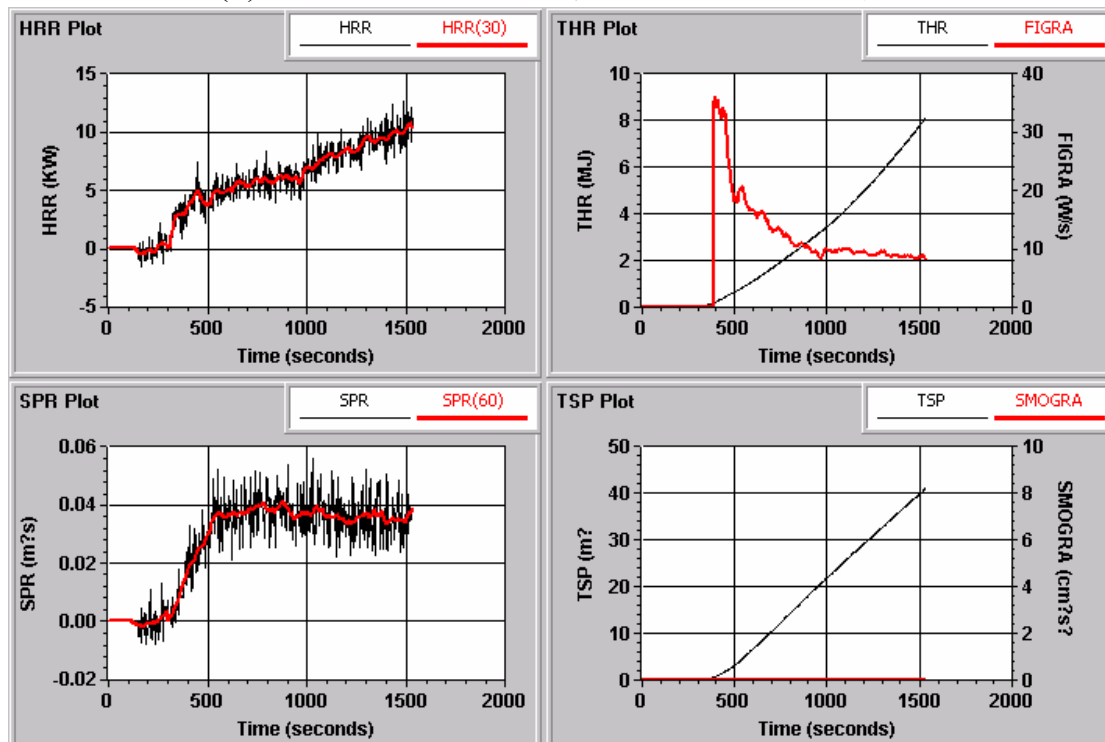


圖 3-5(c)、第三組岩棉板之單材耐燃測試儀之實驗結果

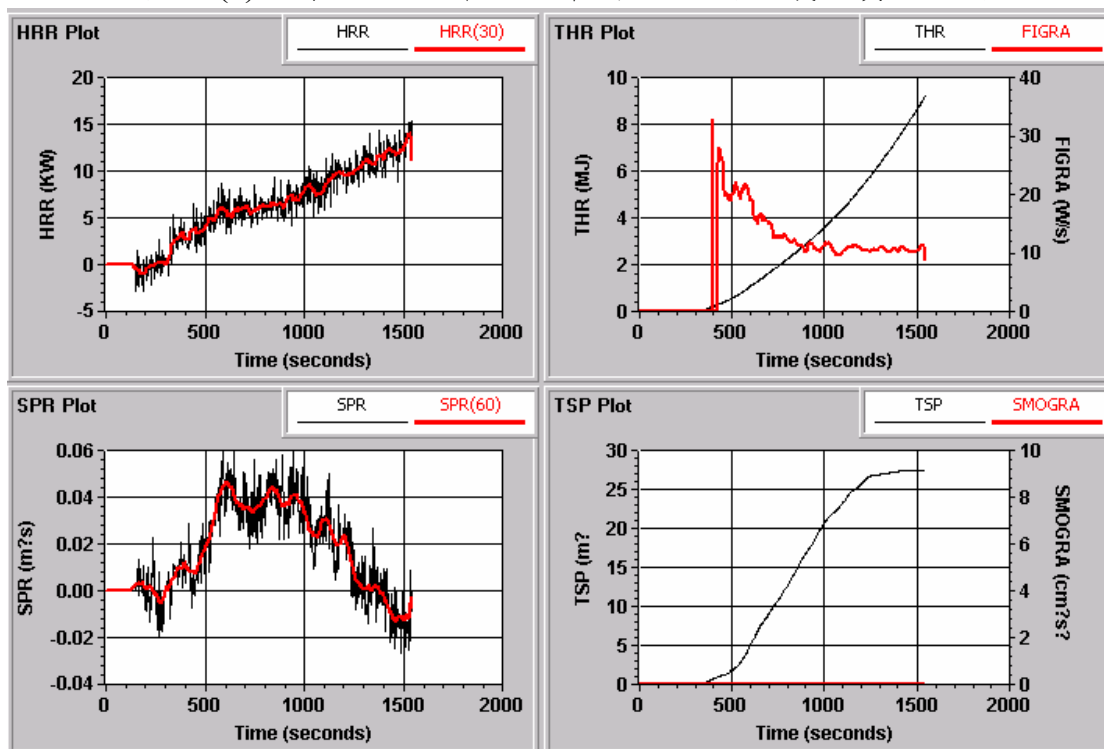


圖 3-6(a)、第一組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

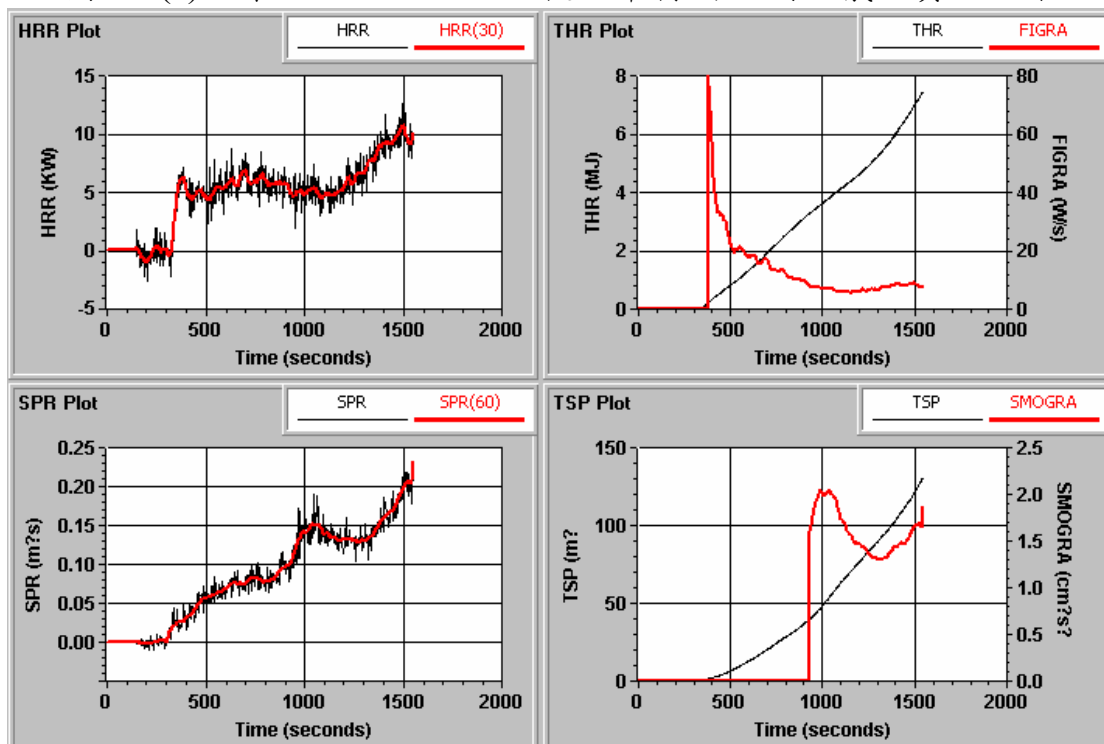


圖 3-6(b)、第二組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

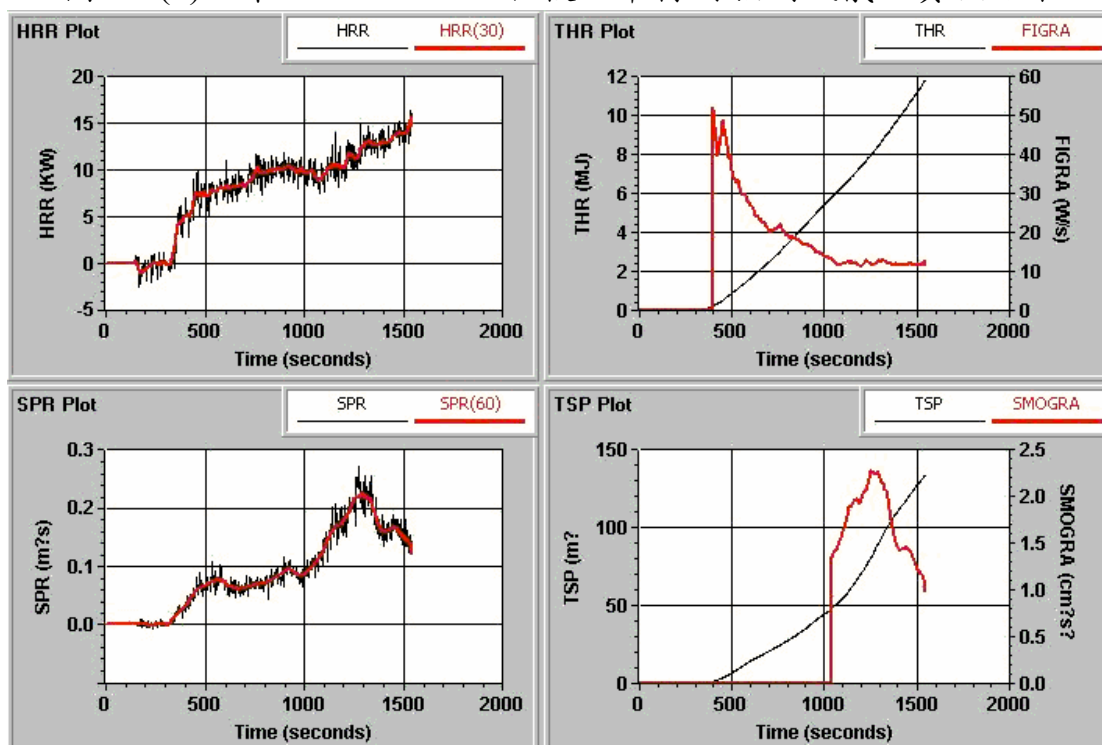


圖 3-6(c)、第三組 14.5 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

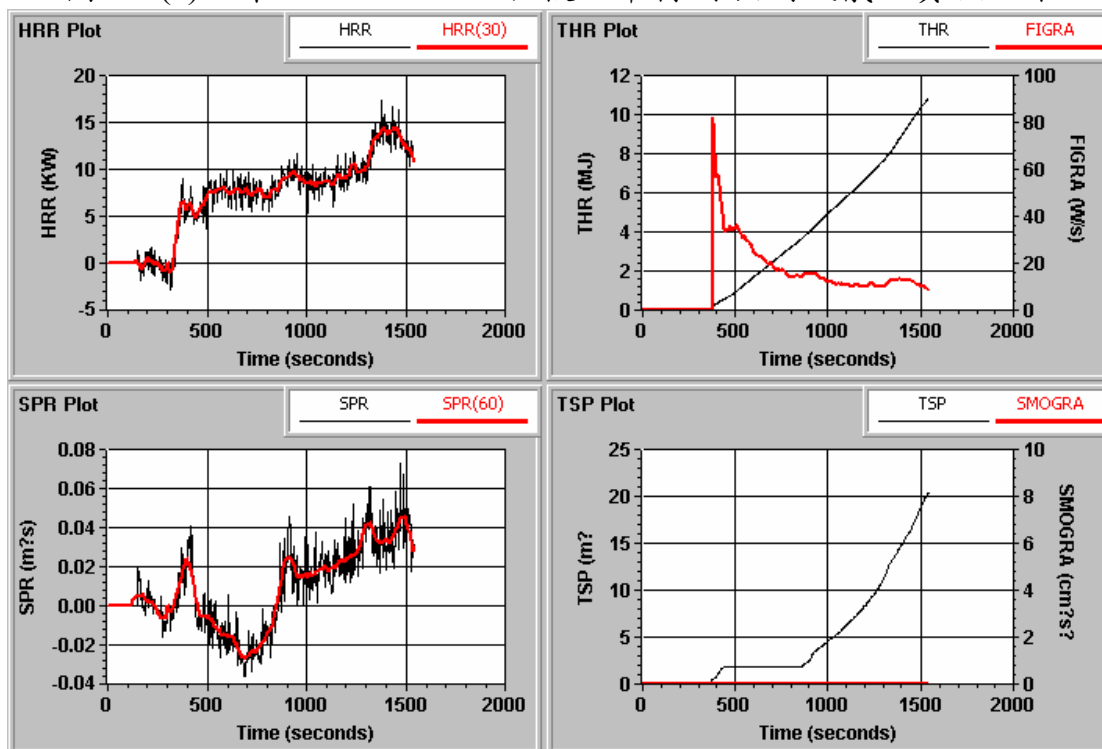


圖 3-7(a)、第一組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

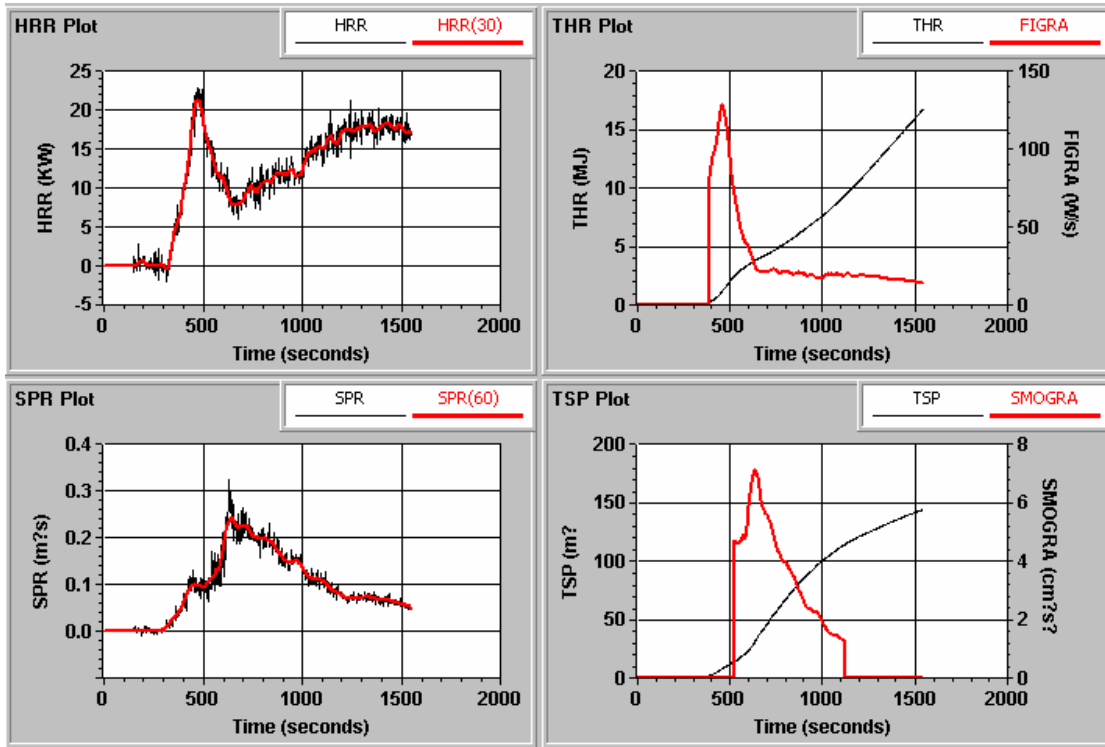


圖 3-7(b)、第二組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

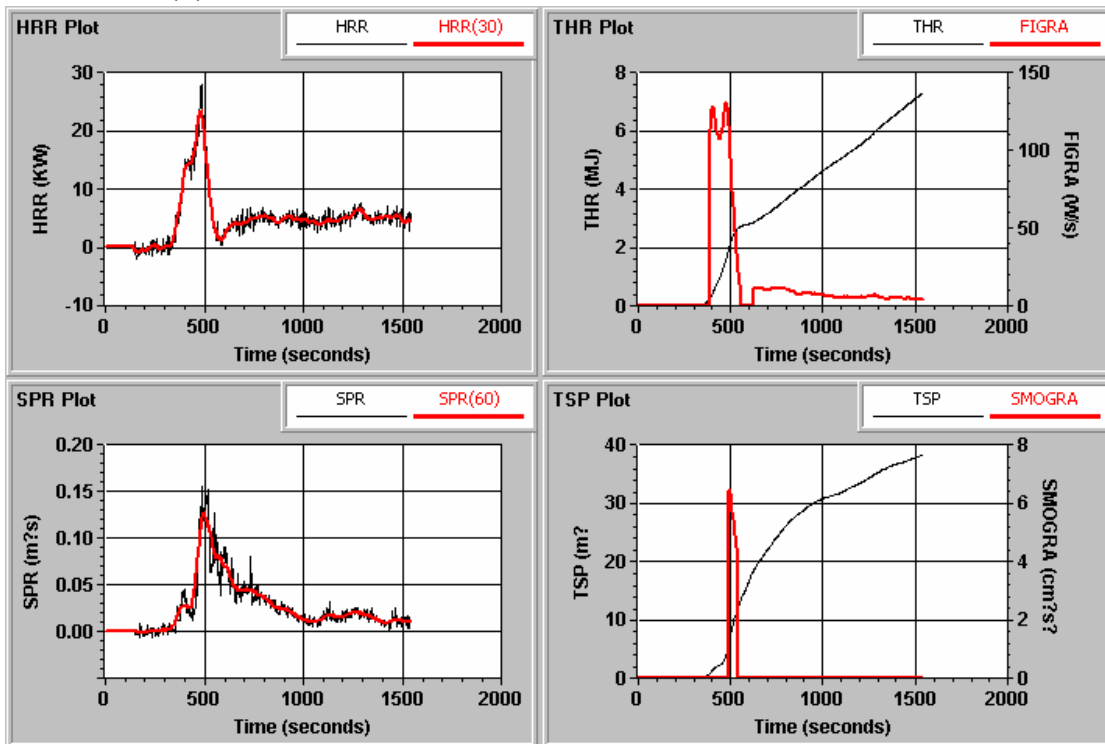


圖 3-7(c)、第三組 3.6 mm 合板之單材耐燃測試儀之實驗結果

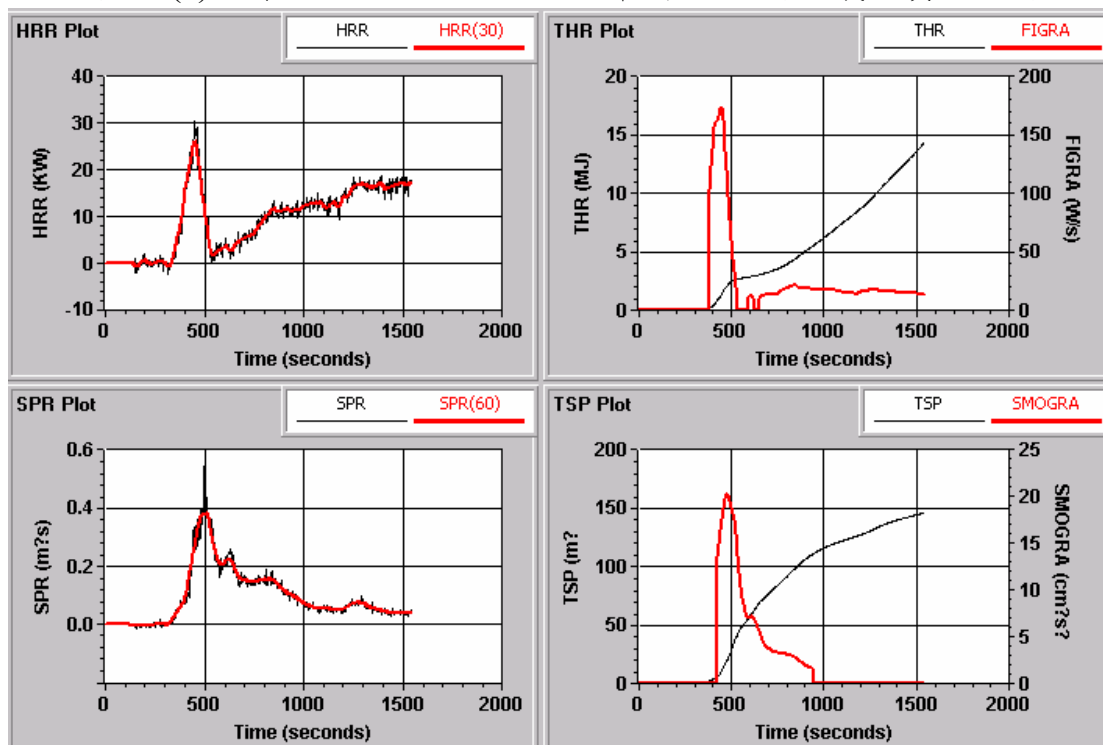


圖 3-8、纖維水泥板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

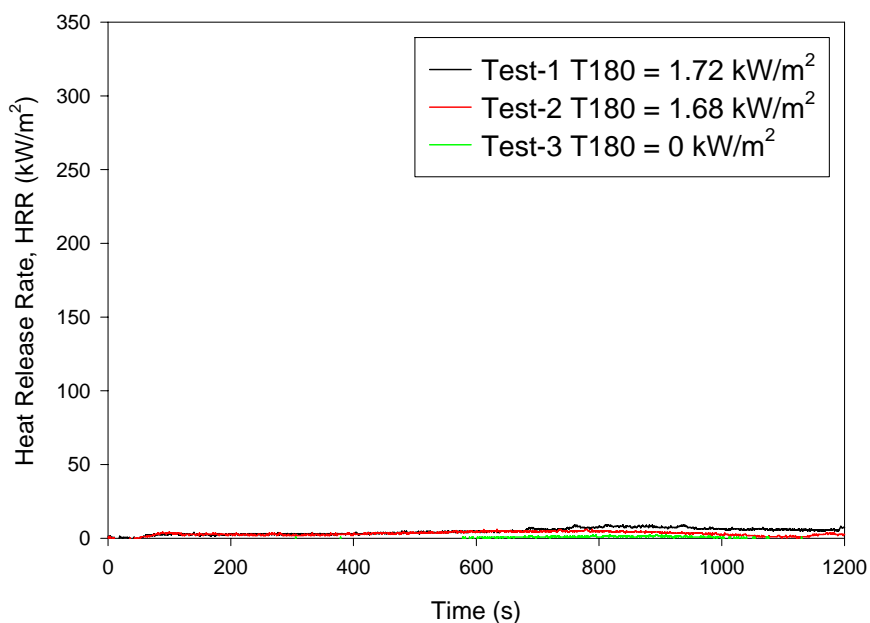


圖 3-9、矽酸鈣板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

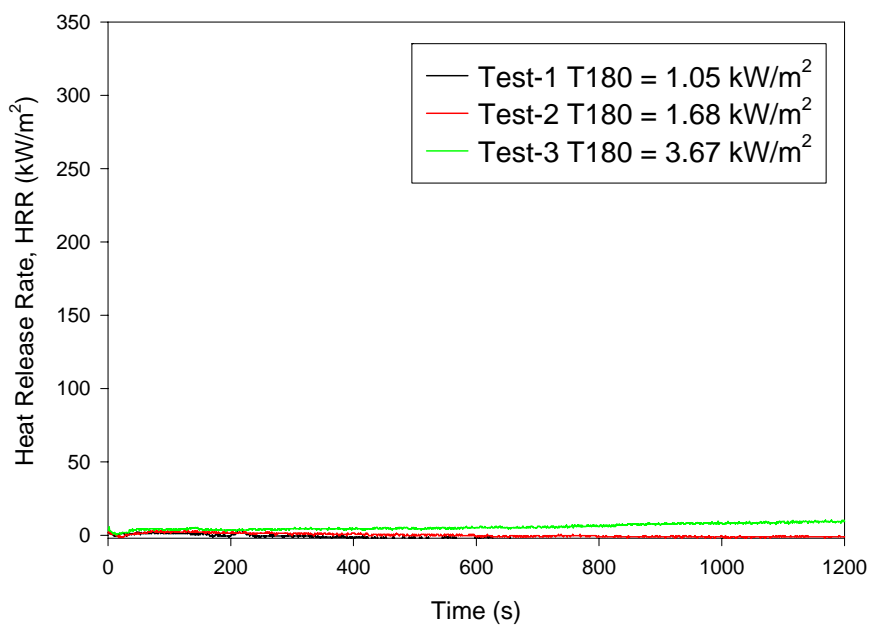


圖 3-10、陶板上奈米 TiO₂ 之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

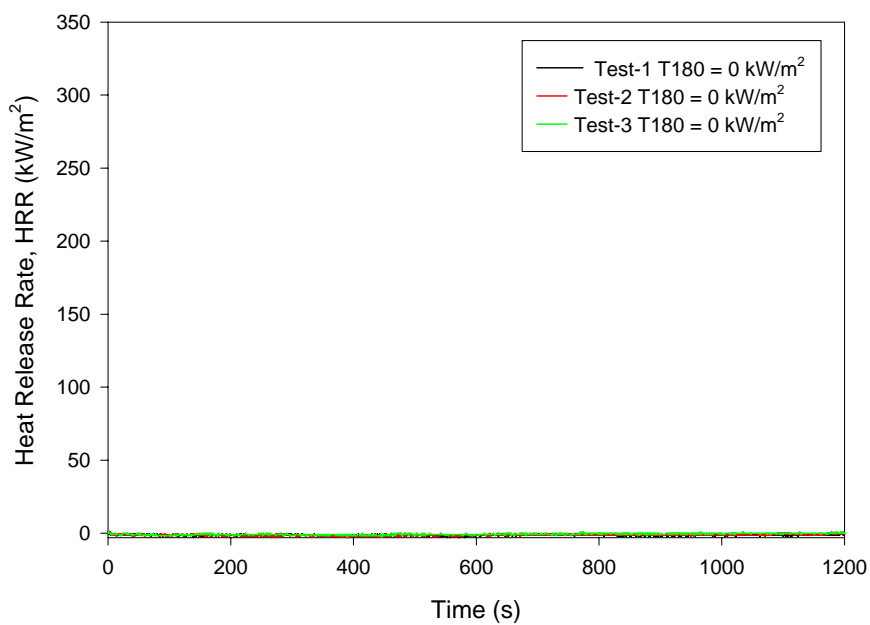


圖 3-11、氧化鎂板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

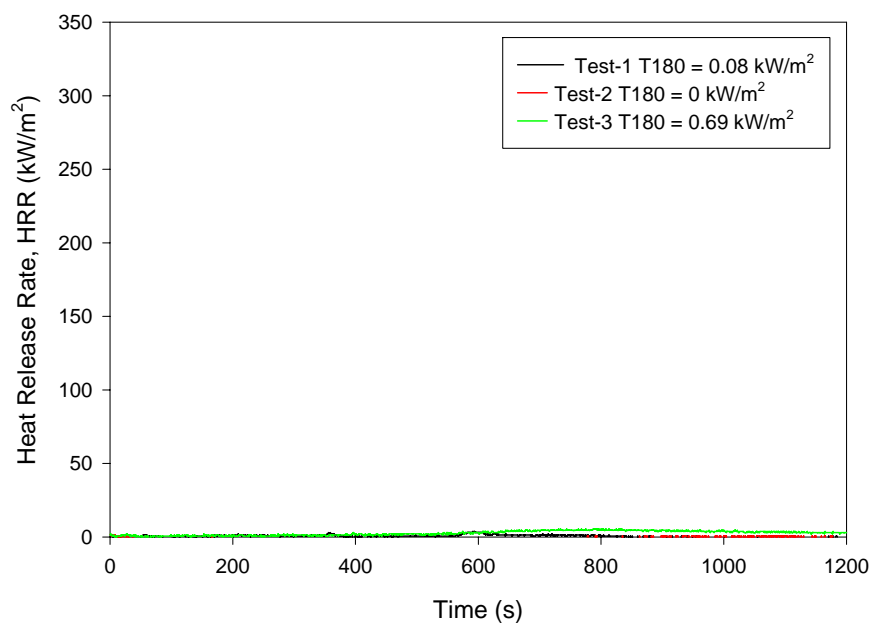


圖 3-12、岩棉板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

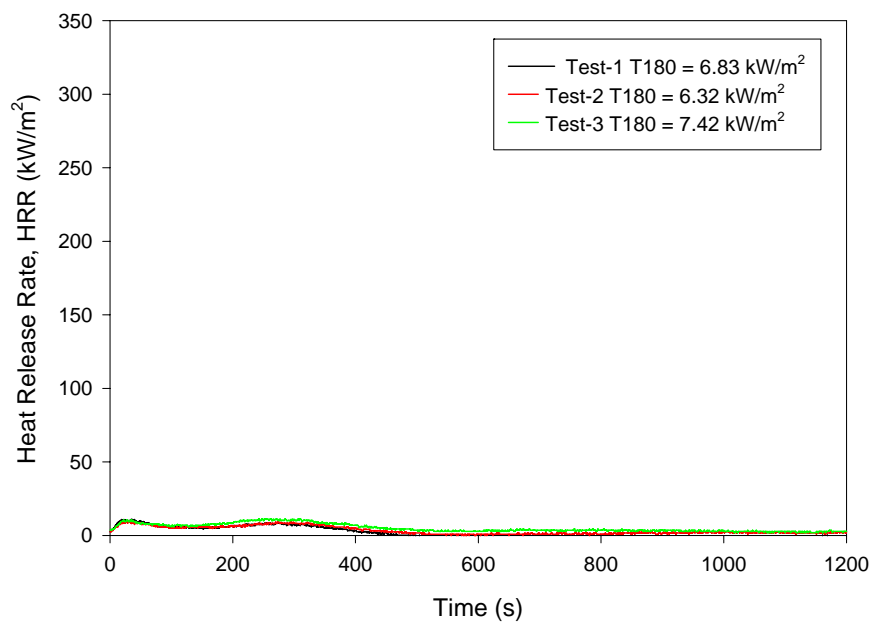


圖 3-13、14.5 mm 之合板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率
與時間關係圖

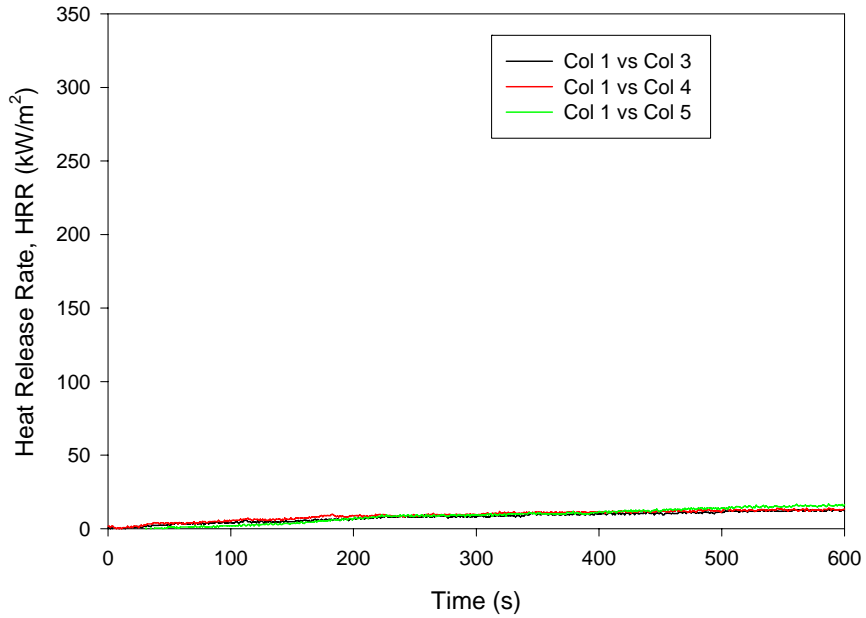


圖 3-14、3.6 mm 之合板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率
與時間關係圖

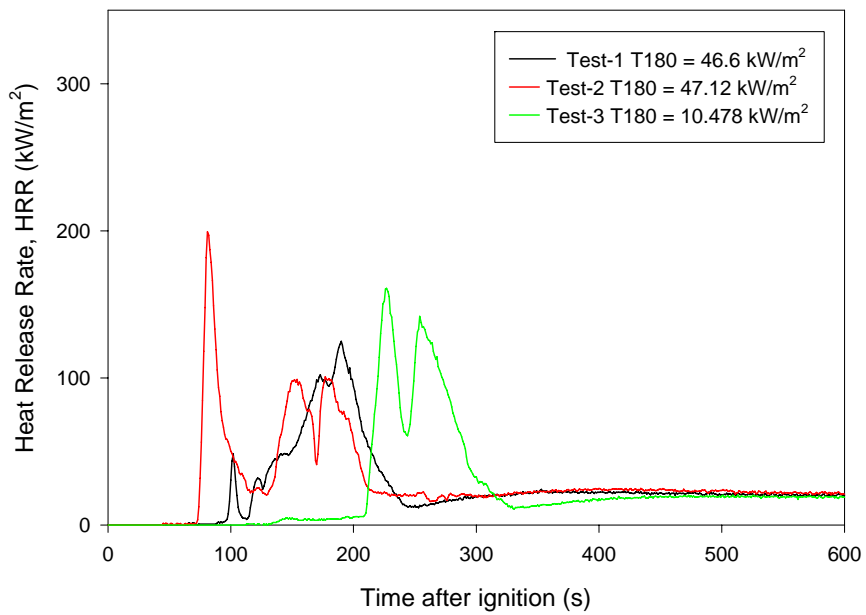


圖 3-15、陶板上奈米紅外線之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

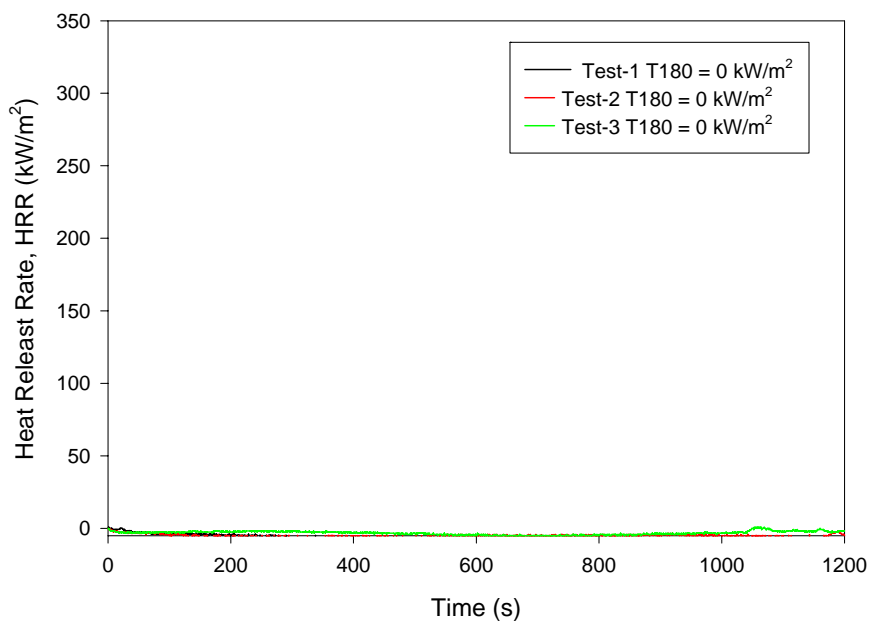


圖 3-16、陶板上奈米負離子之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

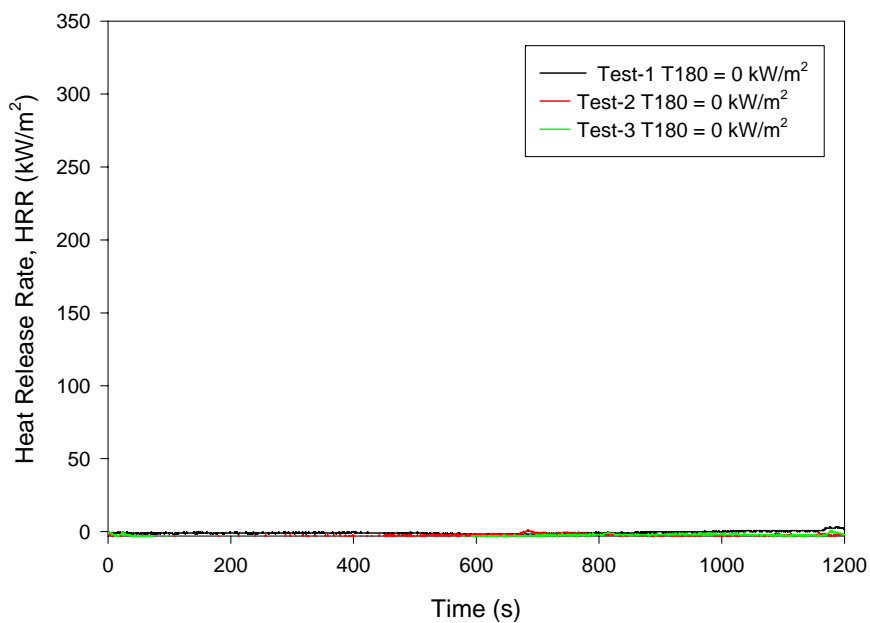


圖 3-17、玻璃纖維板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

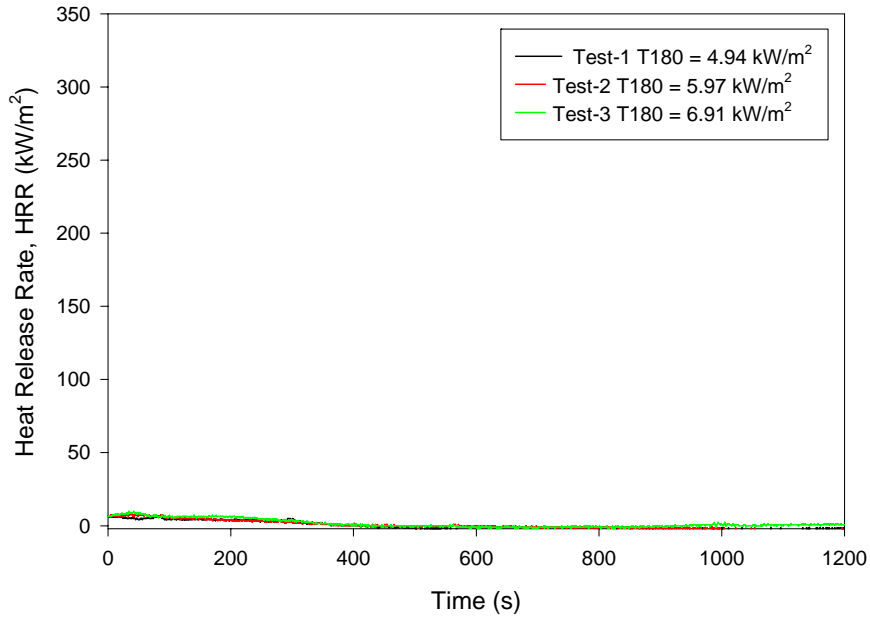


圖 3-18、石膏板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

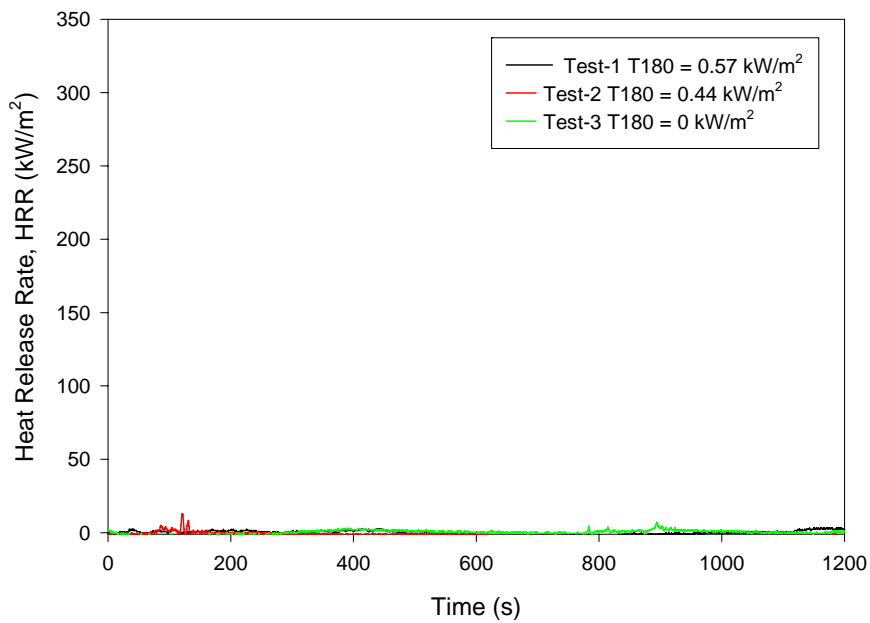


圖 3-19、南美紫檀地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

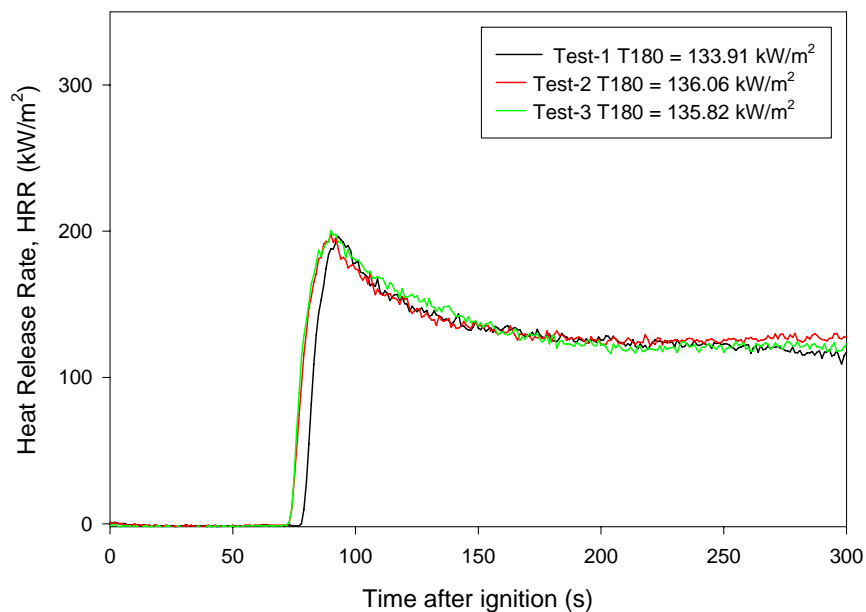


圖 3-20、海鳥型南美紫檀地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

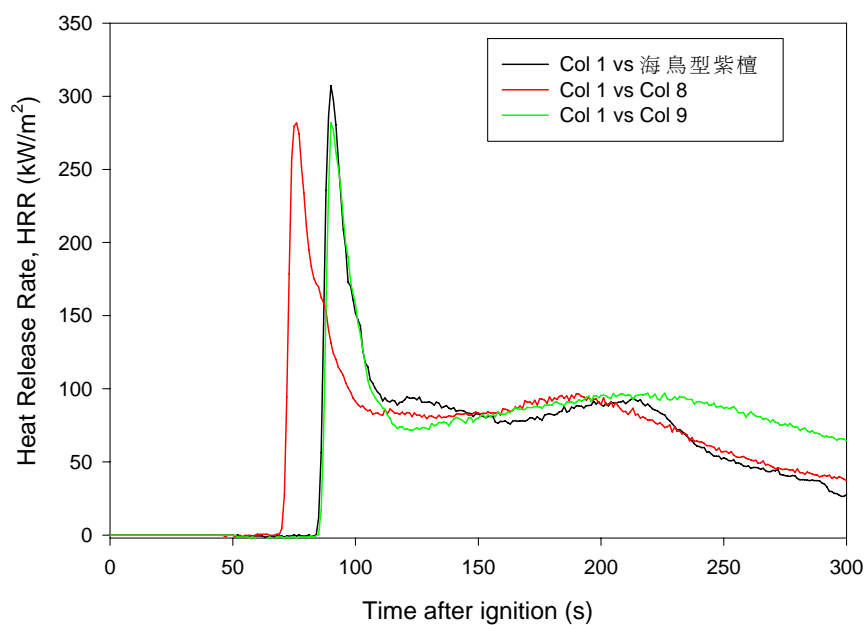


圖 3-21、緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

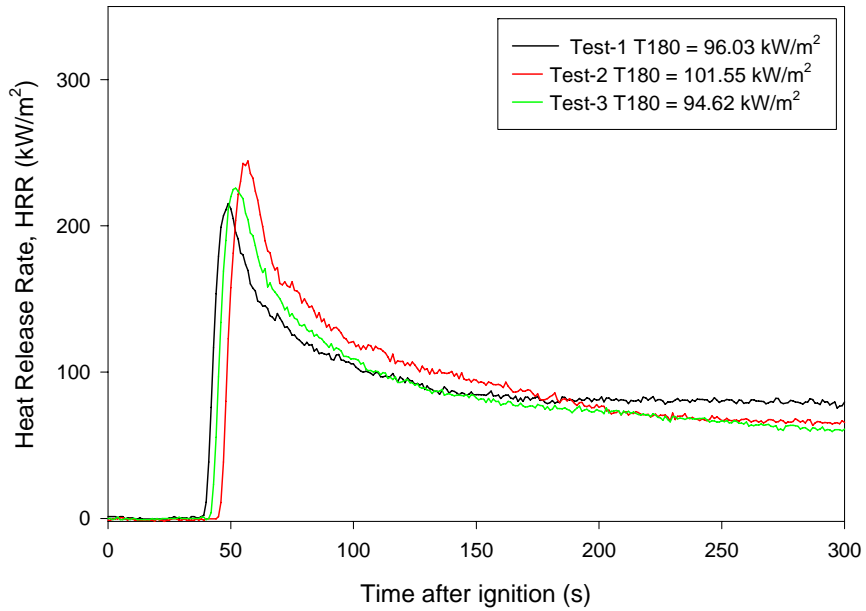


圖 3-22、海鳥型緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-垂直擺設之熱釋放率與時間關係圖

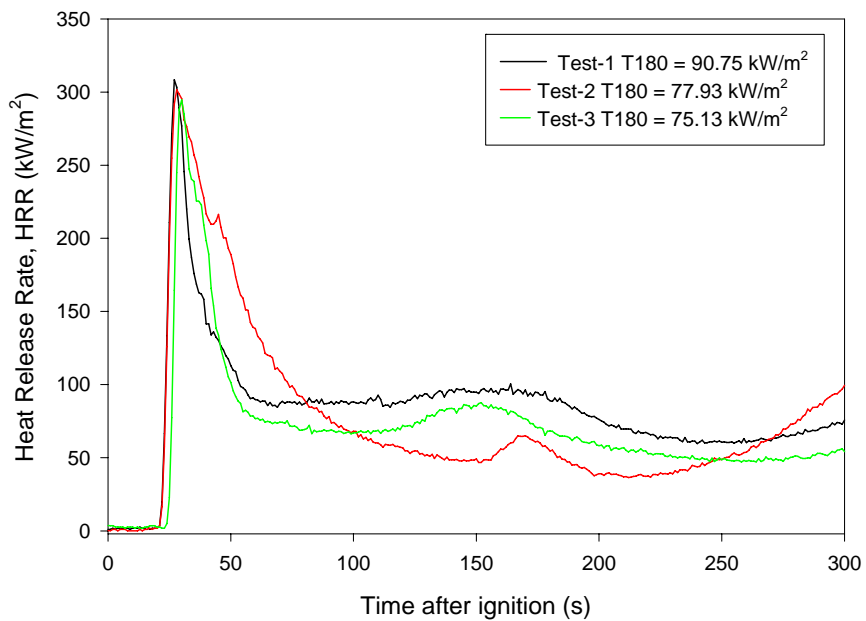


圖 3-23、纖維水泥板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係

圖

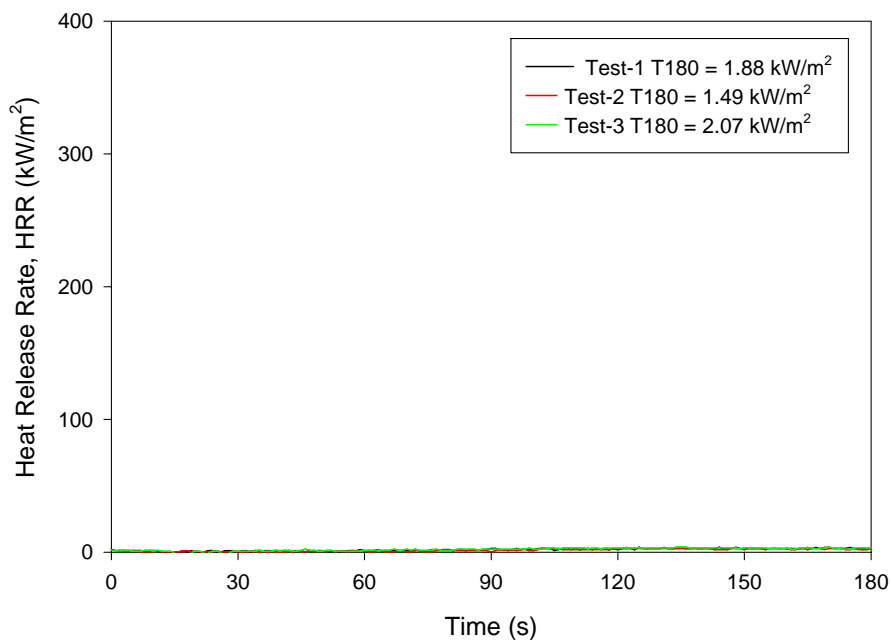


圖 3-24、矽酸鈣板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

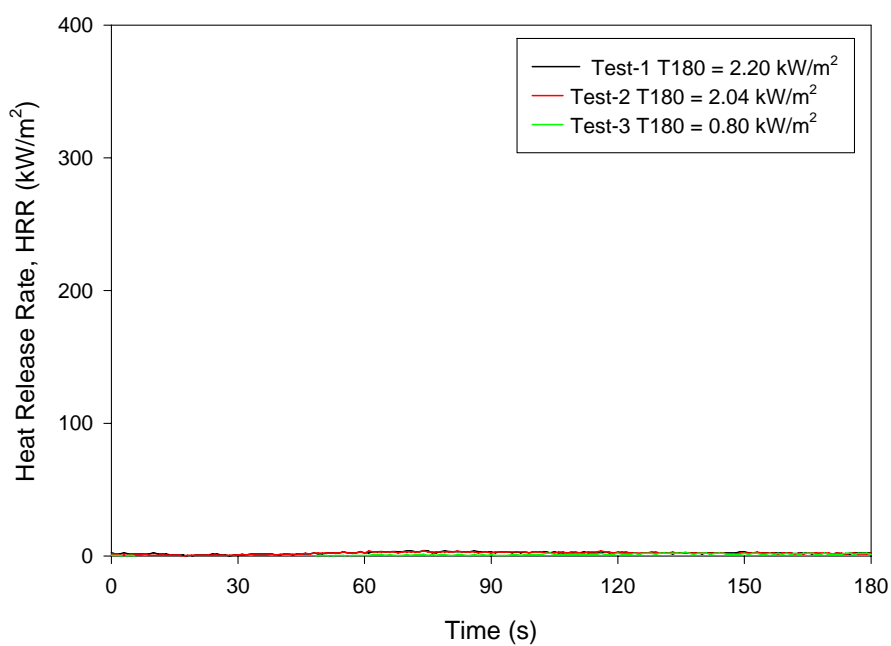


圖 3-25、陶板塗奈米 TiO_2 之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

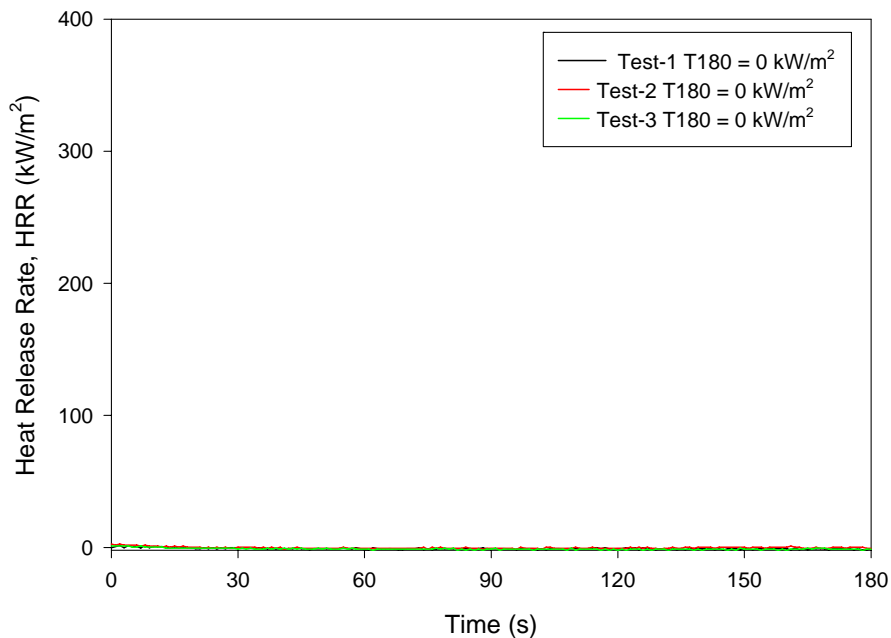


圖 3-26、氧化鎂板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

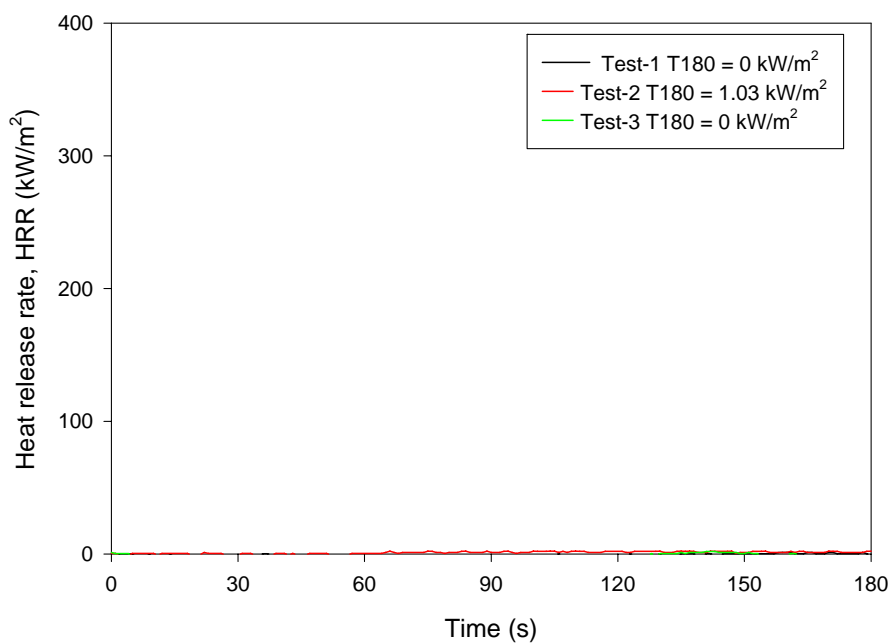


圖 3-27、岩棉板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

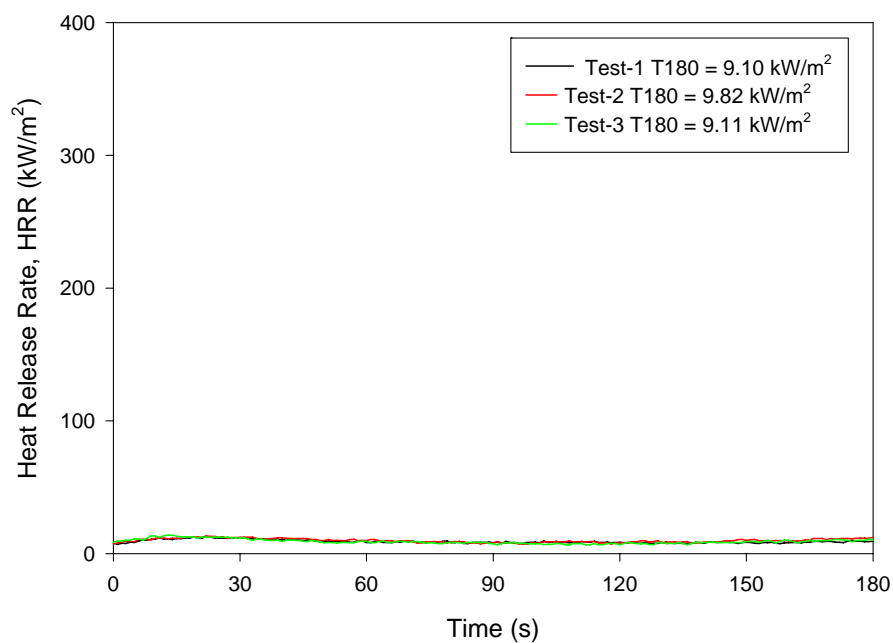


圖 3-28、14.5 mm 合板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

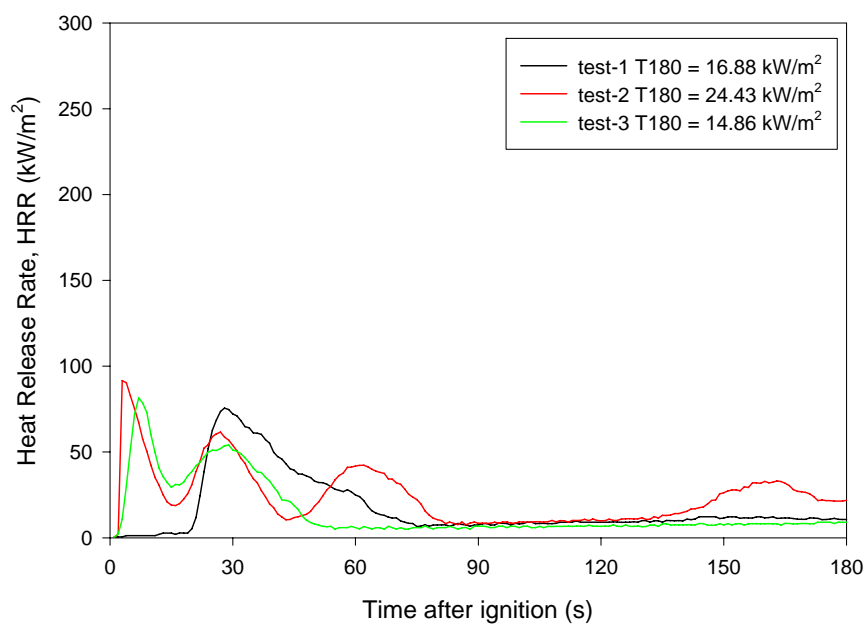


圖 3-29、3.6 mm 合板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係
圖

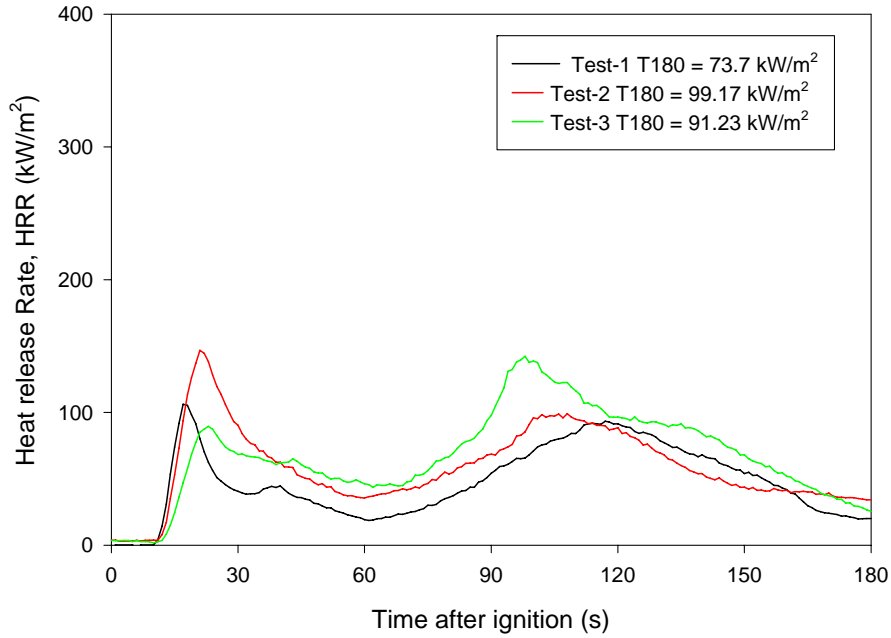


圖 3-30、陶板塗奈米遠紅外線之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率
與時間關係圖

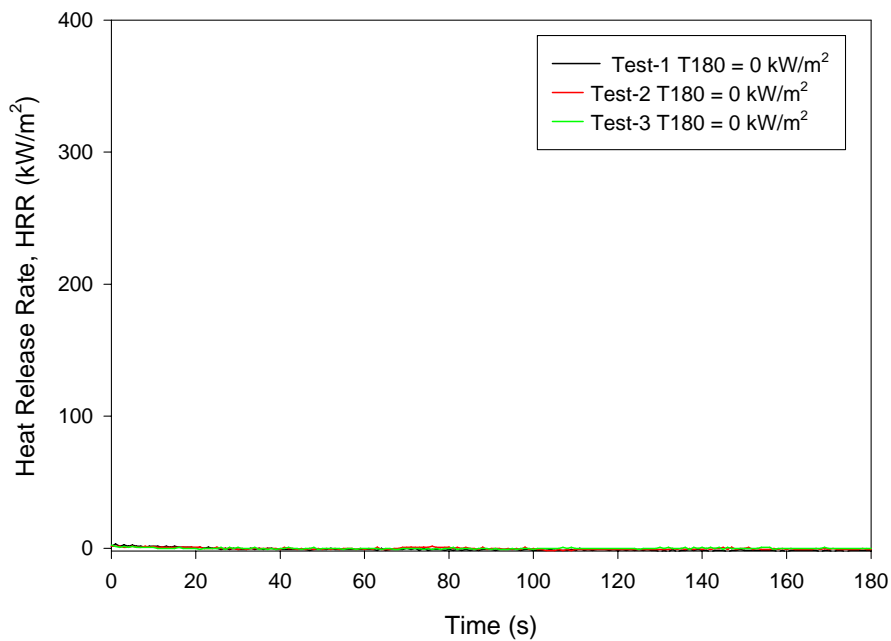


圖 3-31、奈米陶板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

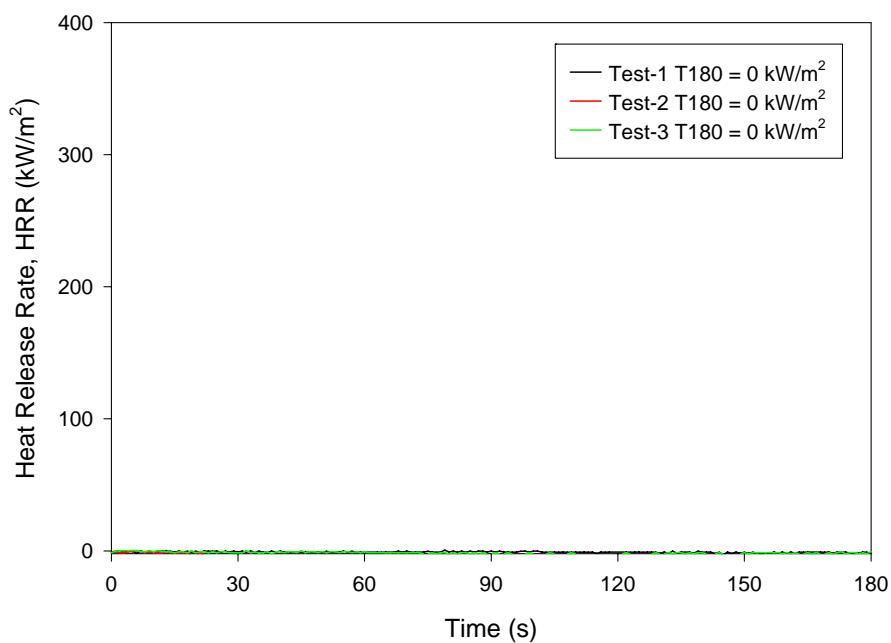


圖 3-32、玻璃纖維板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

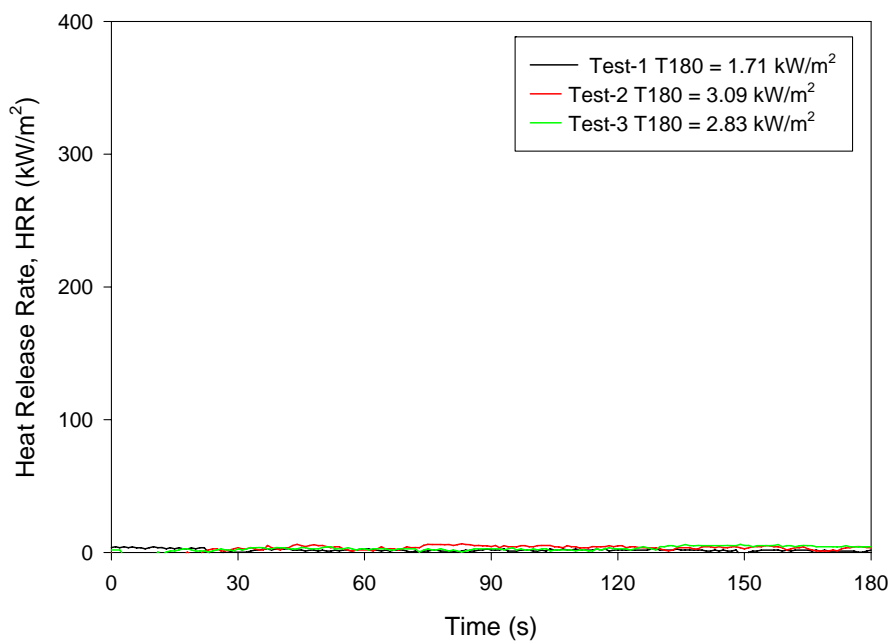


圖 3-33、石膏板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

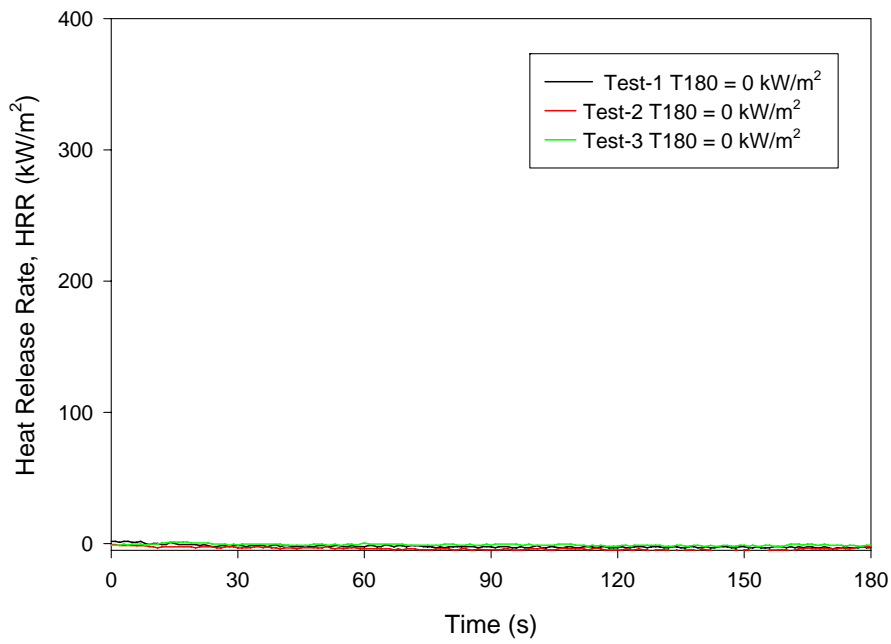


圖 3-34、南美紫檀地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

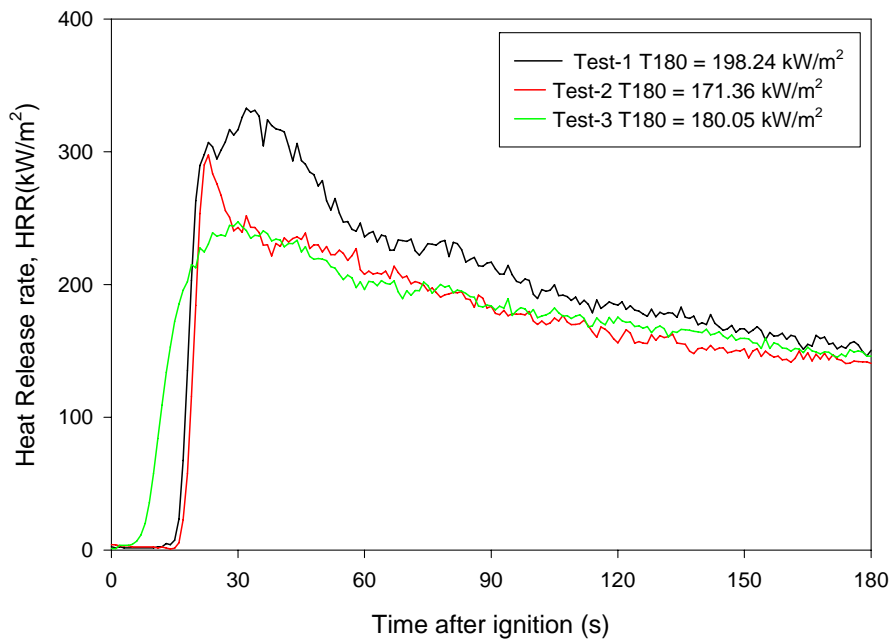


圖 3-35、海島型南美紫檀地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

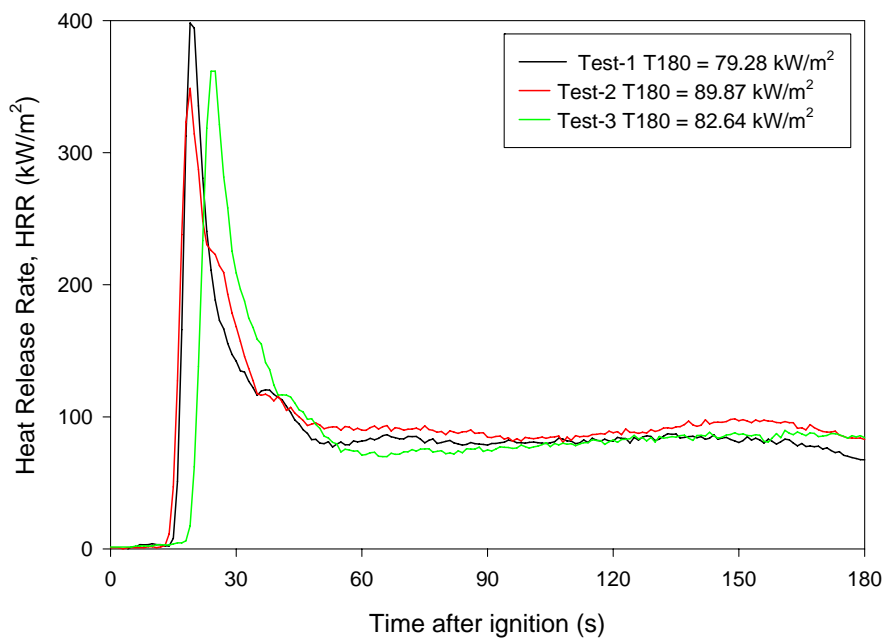


圖 3-36、緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

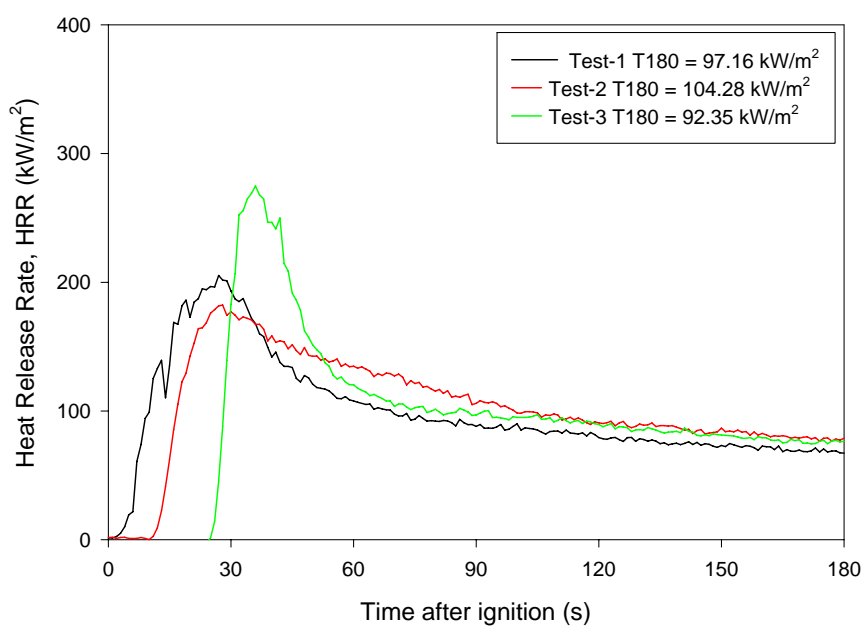


圖 3-37、海島型緬甸柚木地板之圓錐量熱儀-水平擺設之熱釋放率與時間關係圖

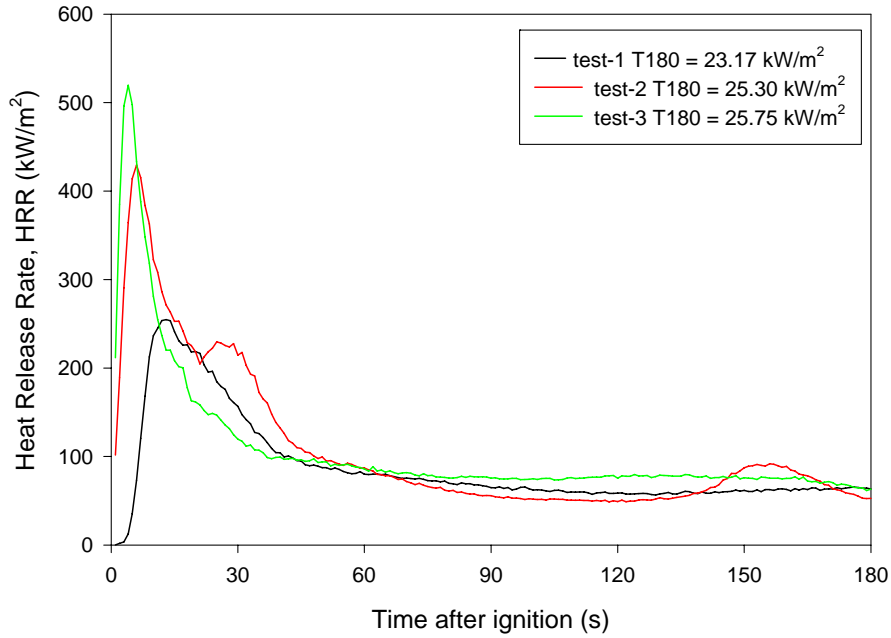


圖 3-38(a)、圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放垂直擺設與水平擺設之關係圖

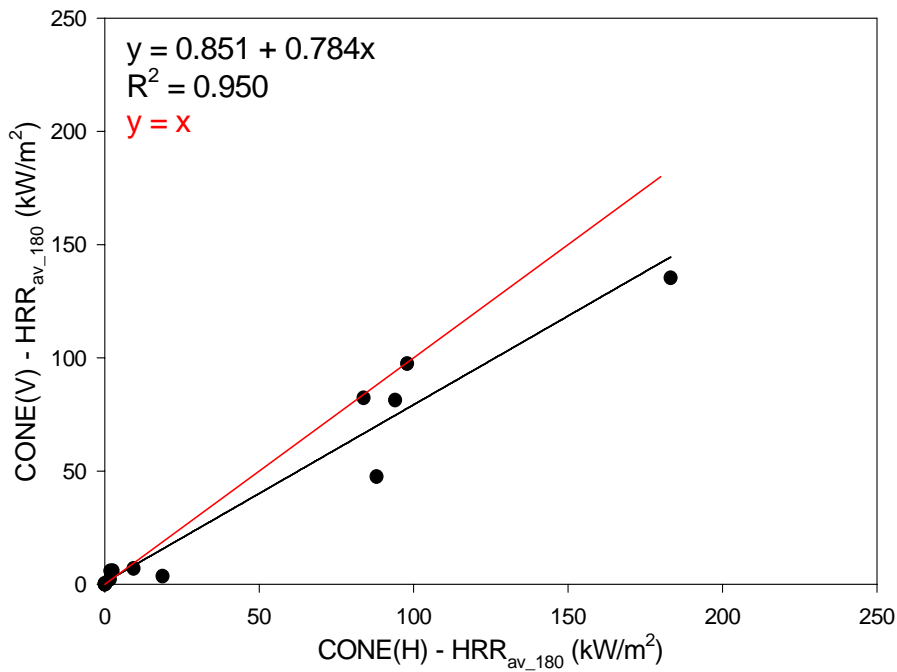


圖 3-38(b)、圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放垂直擺設與水平擺設之關係圖

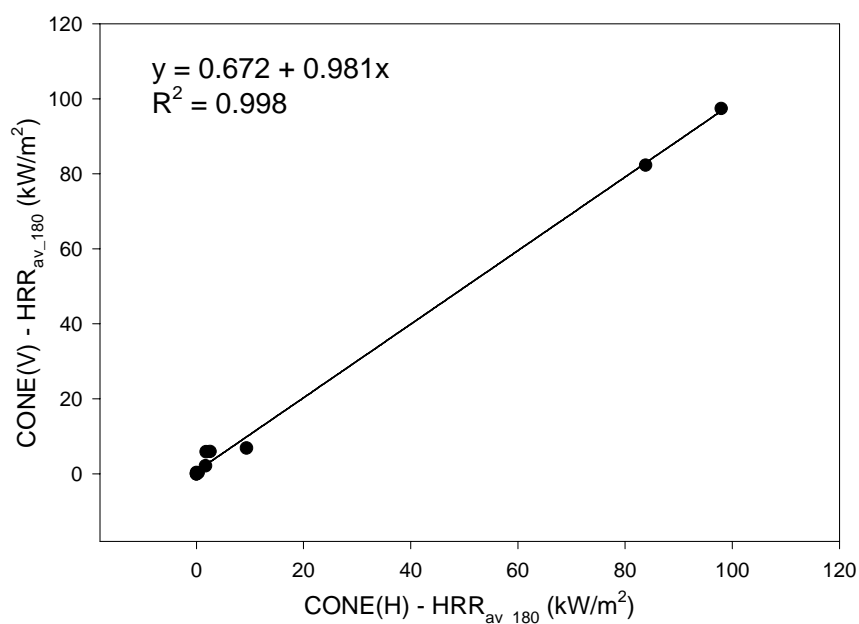


圖 3-39、圓錐量熱儀之火災成長率垂直擺設與水平擺設之關係圖

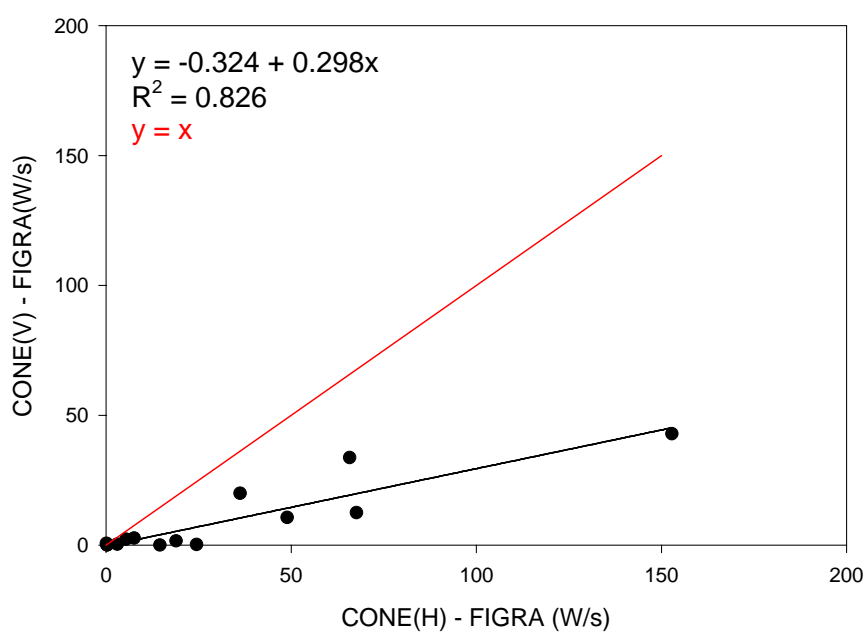


圖 3-40、建研所之圓錐量熱儀與工研院圓錐量熱儀之熱釋放率峰值之關係圖

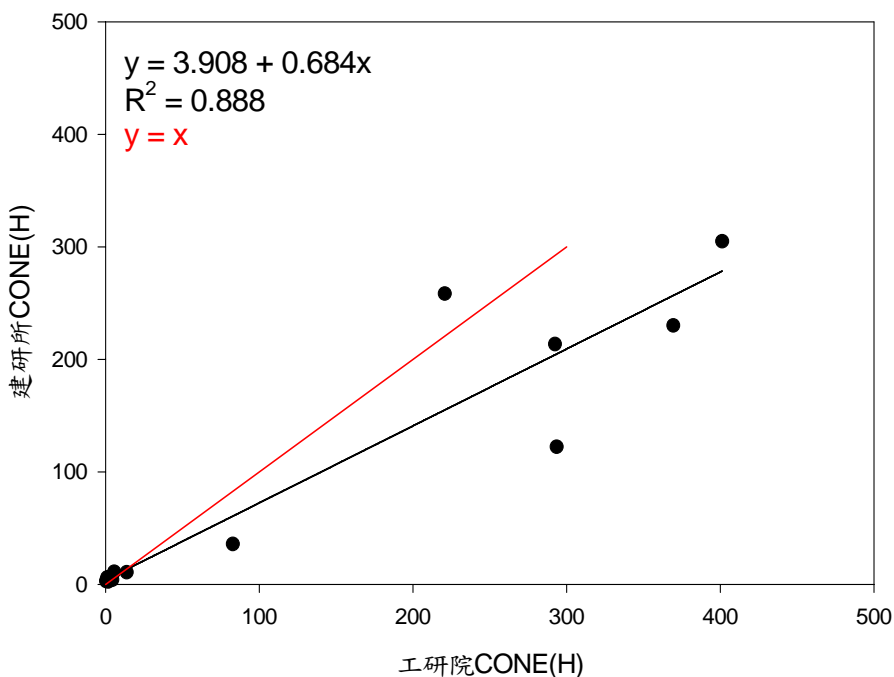


圖 3-41、建研所之圓錐量熱儀與工研院圓錐量熱儀之 180 秒平均熱釋放率之關係圖

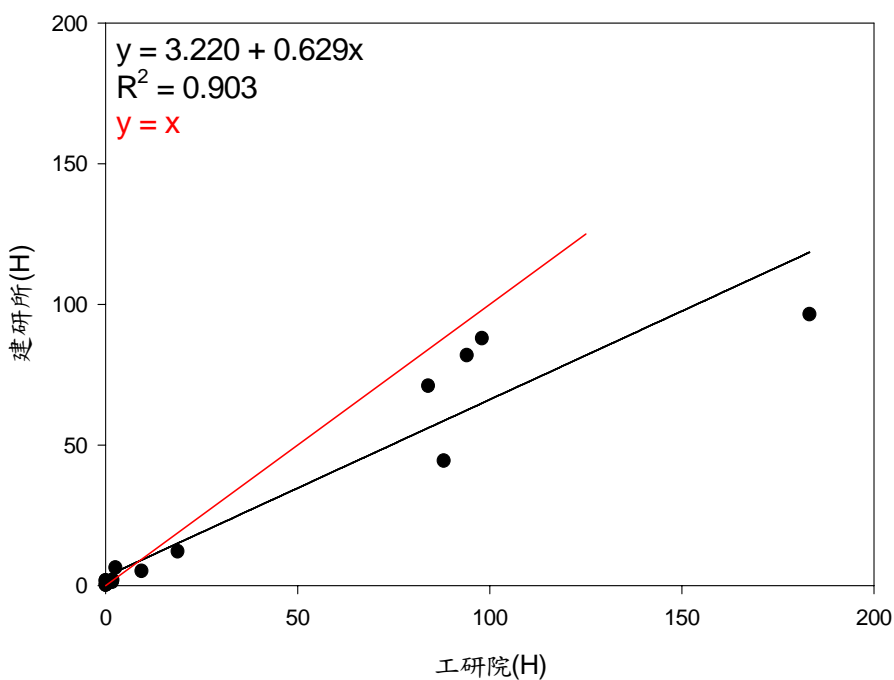


圖 3-42、PMMA 熱釋放率與時間之關係圖

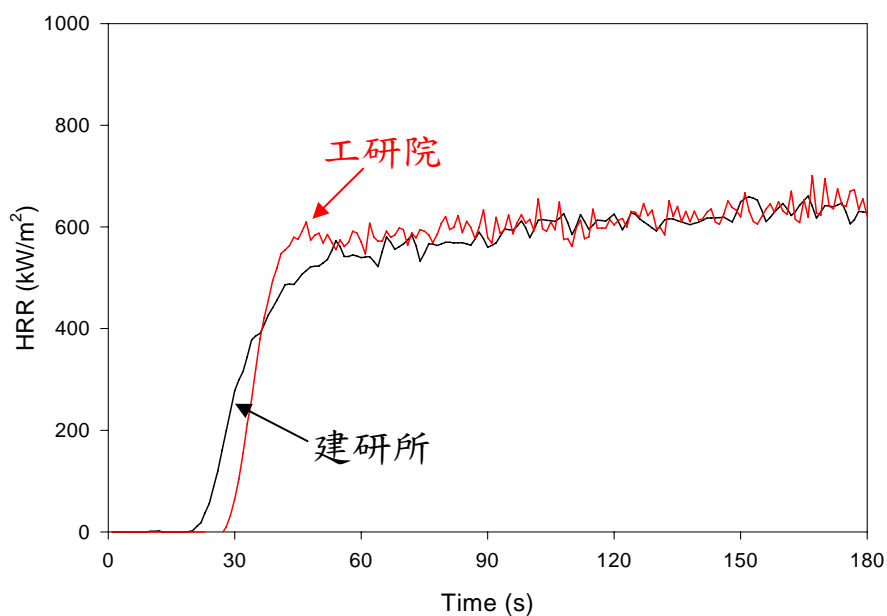


圖 3-43、海島型南美紫檀熱釋放率與時間之關係圖

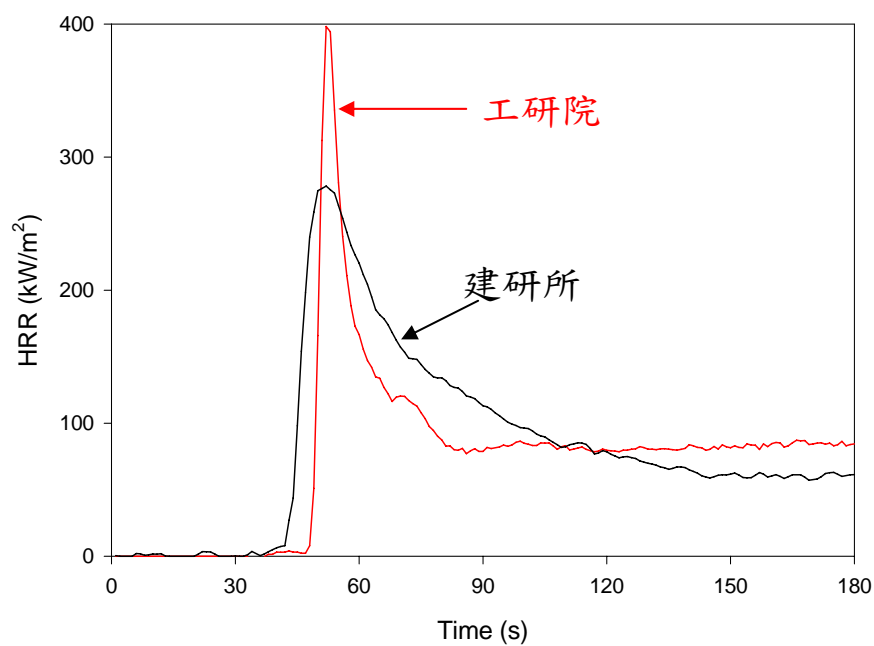


圖 3-44、工研院與建研所之引燃時間關係圖

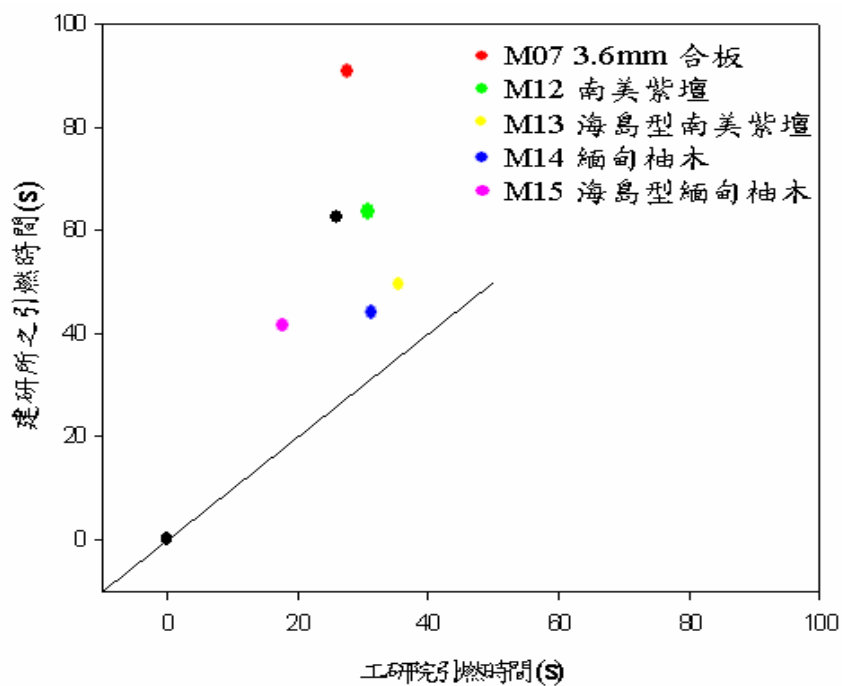


圖 3-45、纖維水泥板之煙產生與時間之關係圖

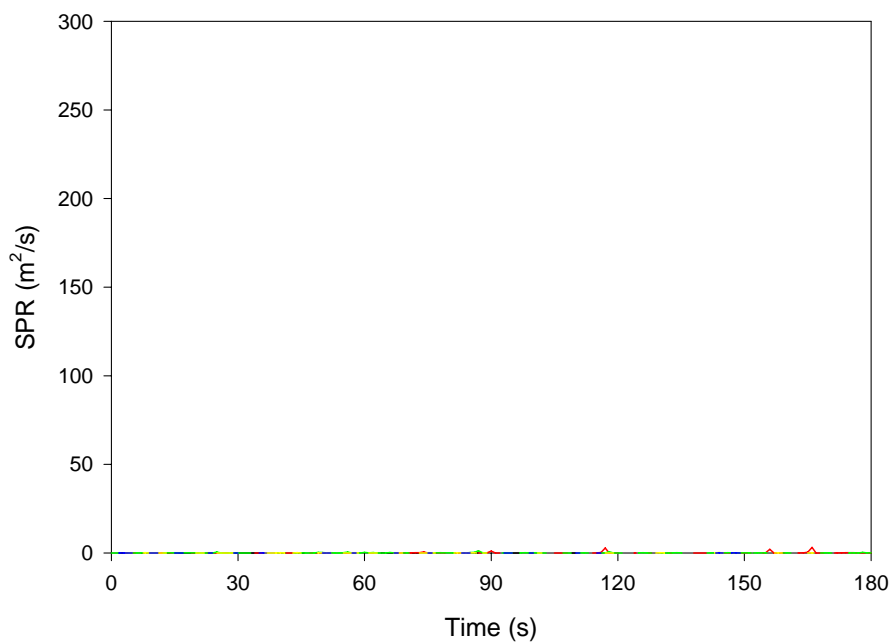


圖 3-46、矽酸鈣板之煙產生率與時間之關係圖

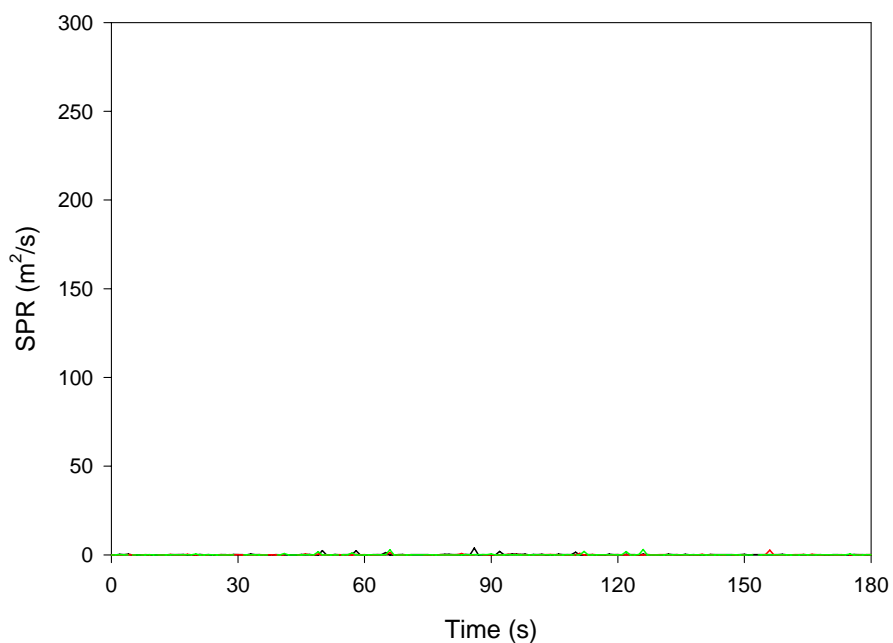


圖 3-47、陶板塗附奈米 TiO_2 之煙產生率與時間之關係圖

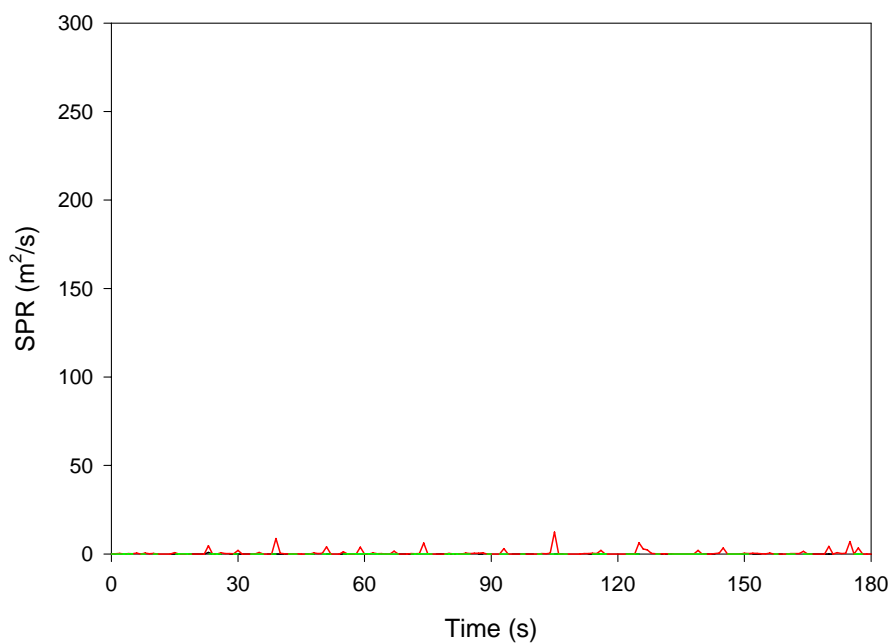


圖 3-48、氧化鎂板之煙產生率與時間之關係圖

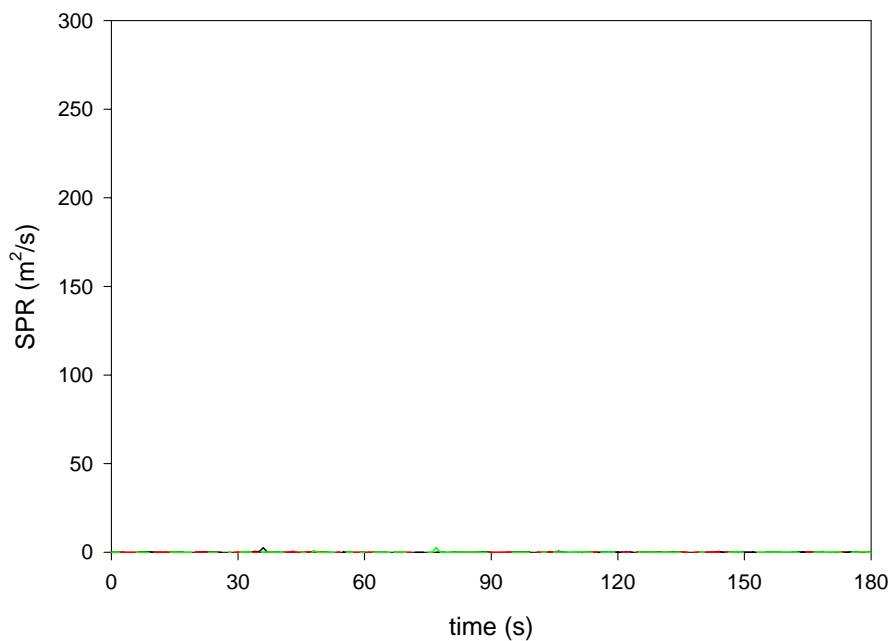


圖 3-49、岩棉板之煙產生率與時間之關係圖

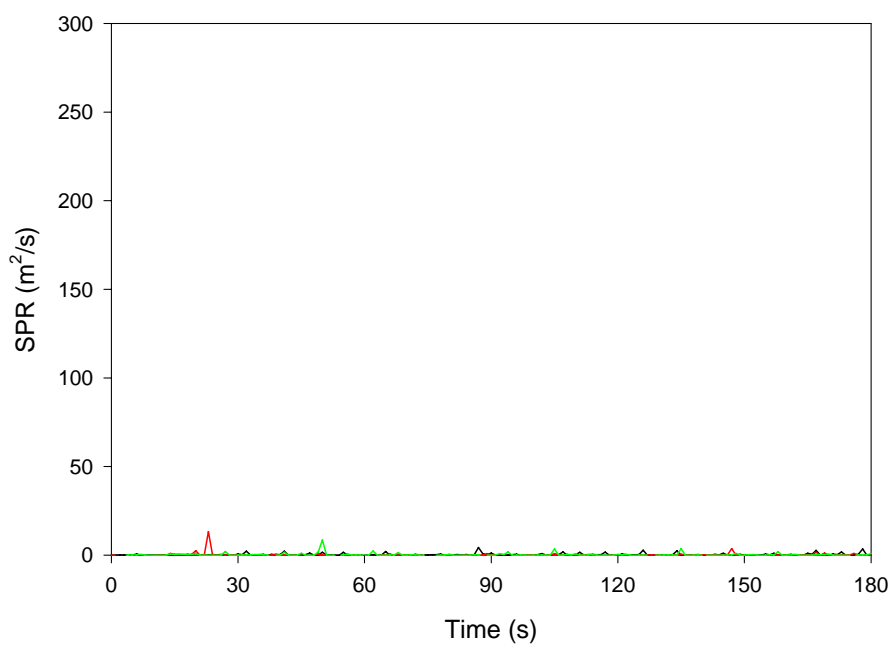


圖 3-50、14.5mm 合板之煙產生率與時間之關係圖

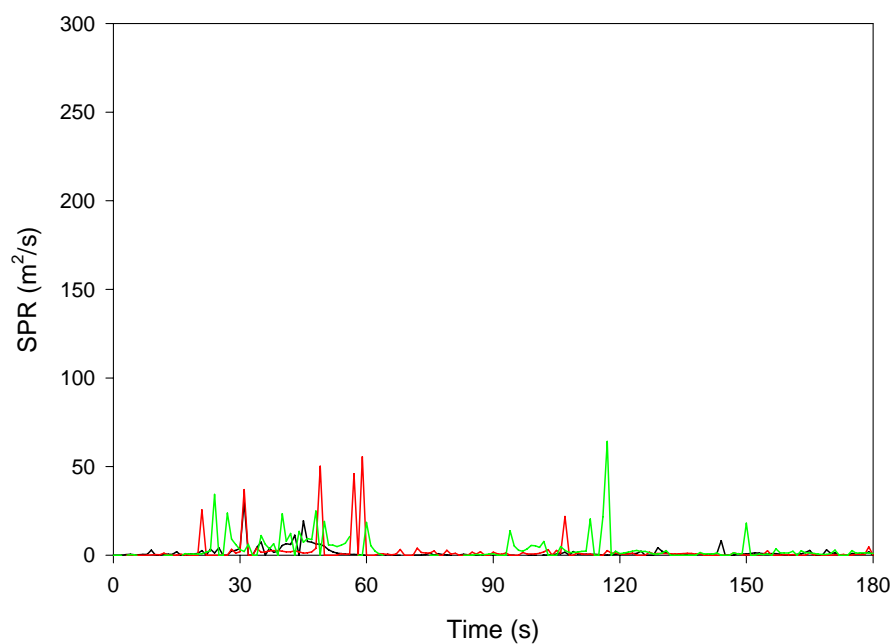


圖 3-51、3.6mm 合板之煙產生率與時間之關係圖

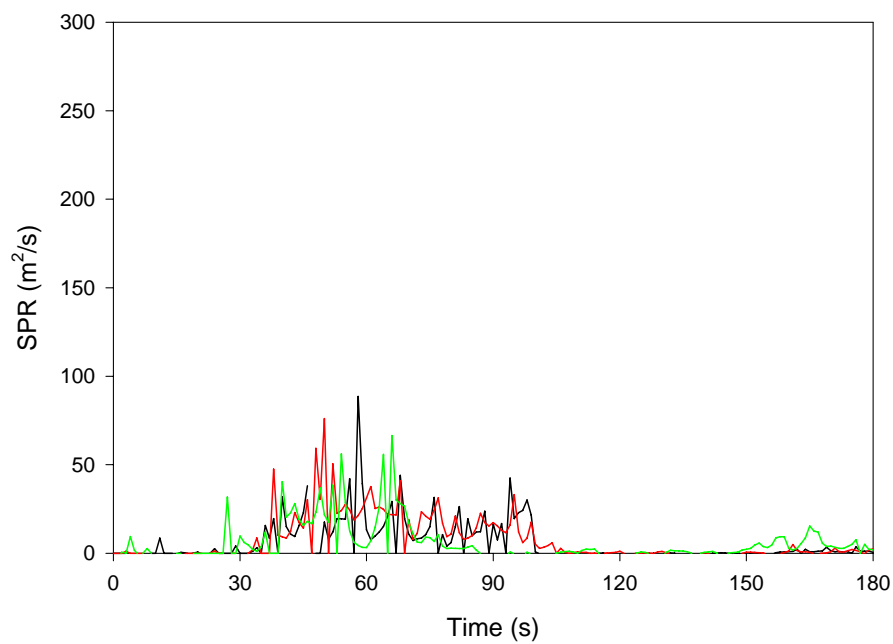


圖 3-52、陶板塗附奈米紅外線與時間之關係圖

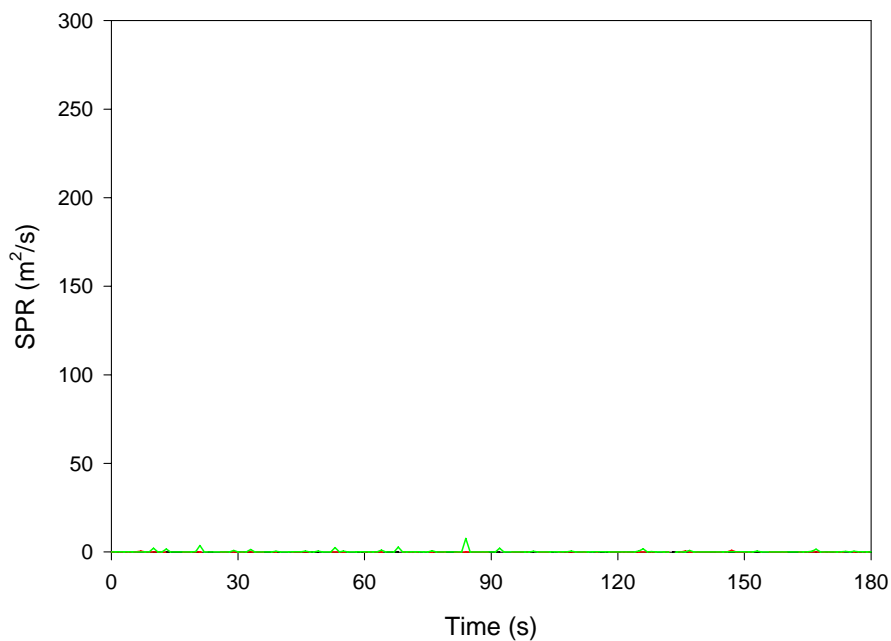


圖 3-53、陶板塗附奈米負離子與時間之關係圖

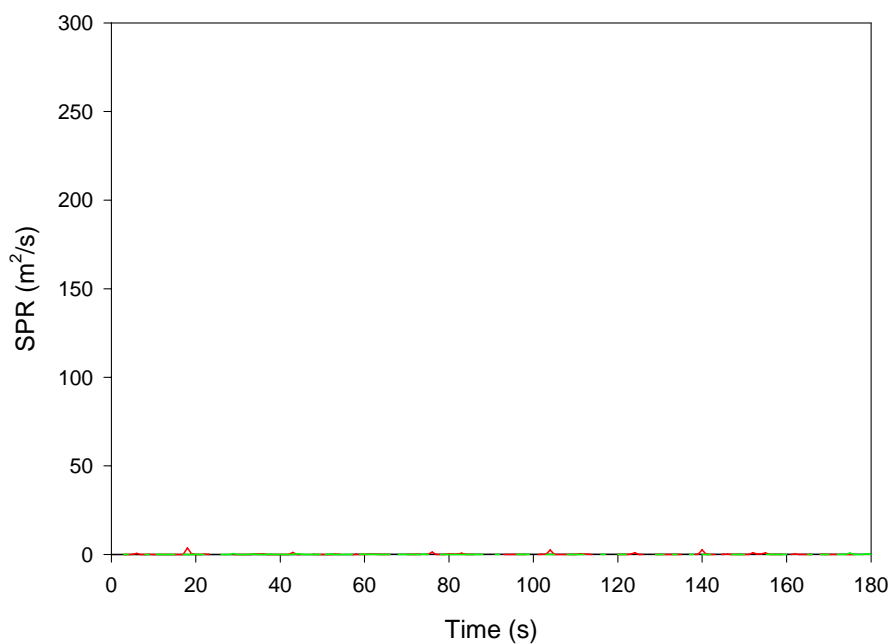


圖 3-54、玻璃纖維板之煙產生率與時間之關係圖

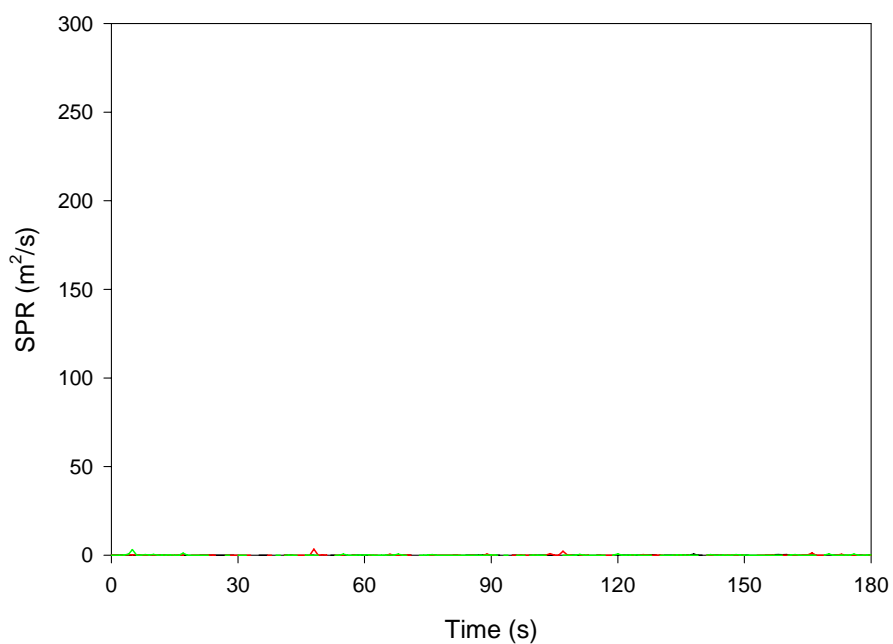


圖 3-55、石膏板之煙產生率與時間之關係圖

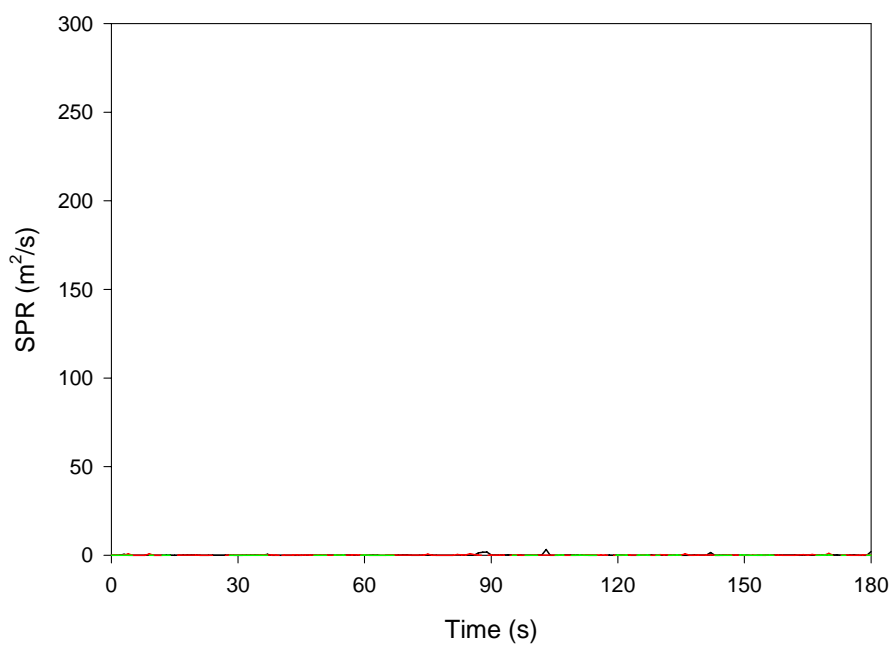


圖 3-56、南美紫檀地板之煙產生率與時間之關係圖

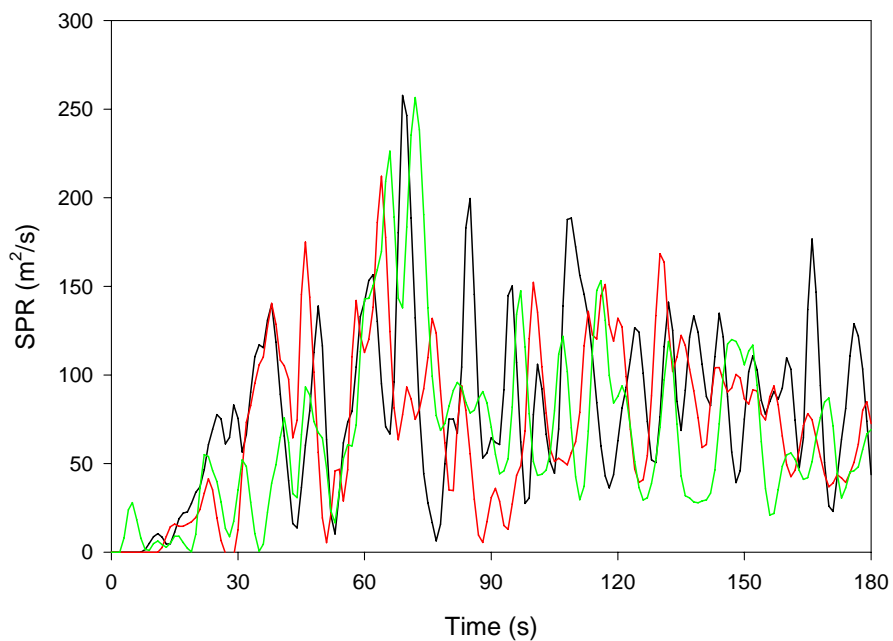


圖 3-57、海島型南美紫檀地板之煙產生率與時間之關係圖

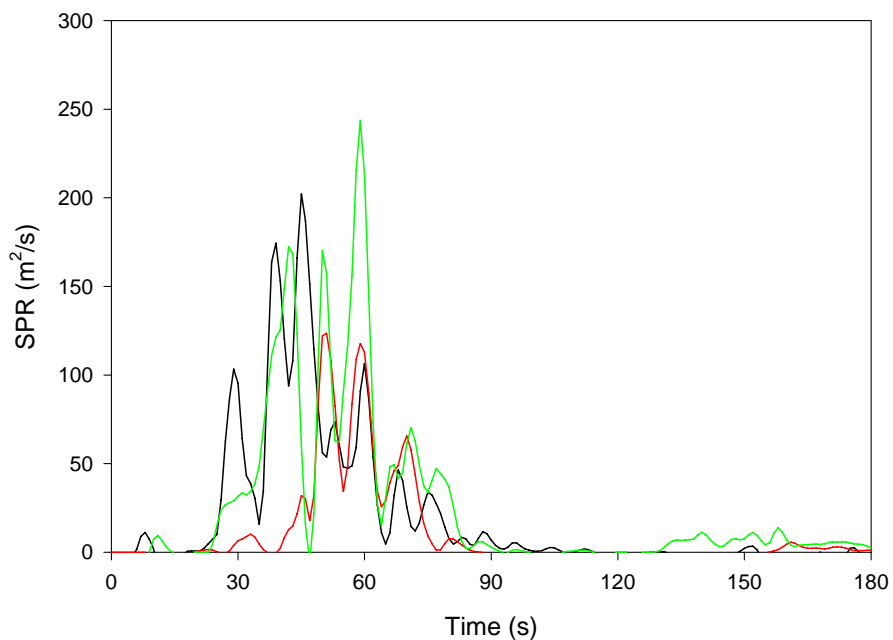


圖 3-58、緬甸柚木地板之煙產生率與時間之關係圖

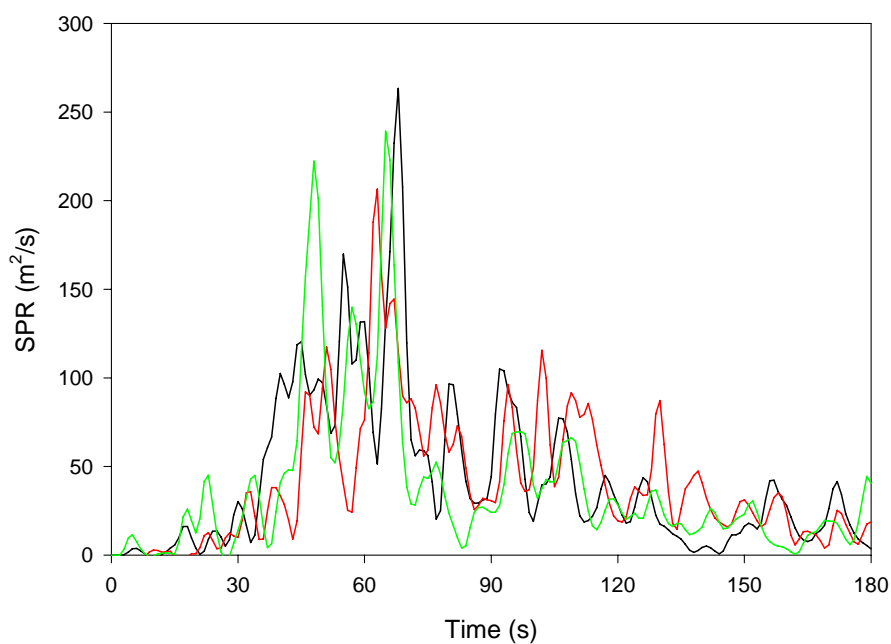


圖 3-59、海島型緬甸柚木地板之煙產生率與時間之關係圖

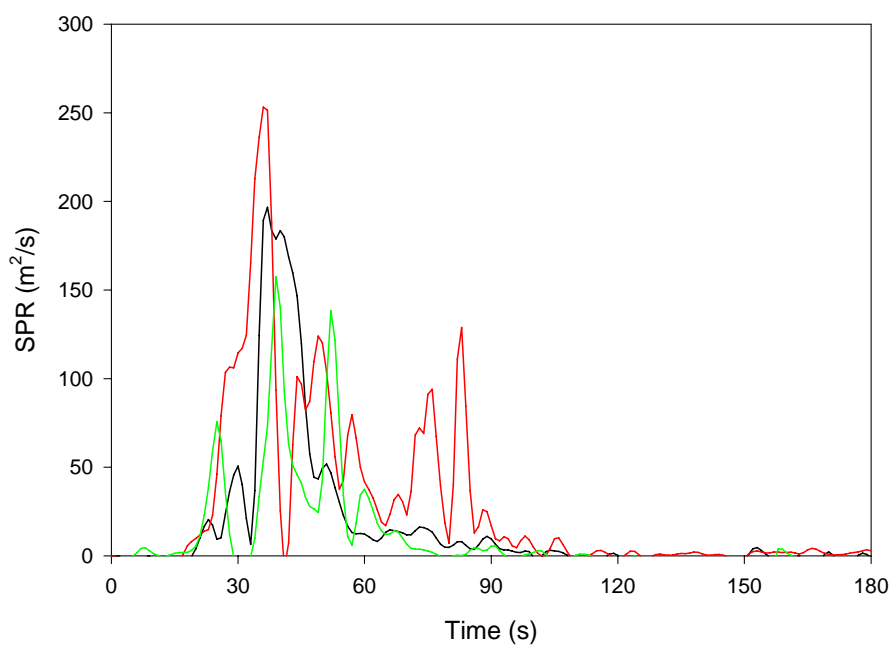


圖 3-60(a)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 垂直擺設熱釋放率峰值之關係圖

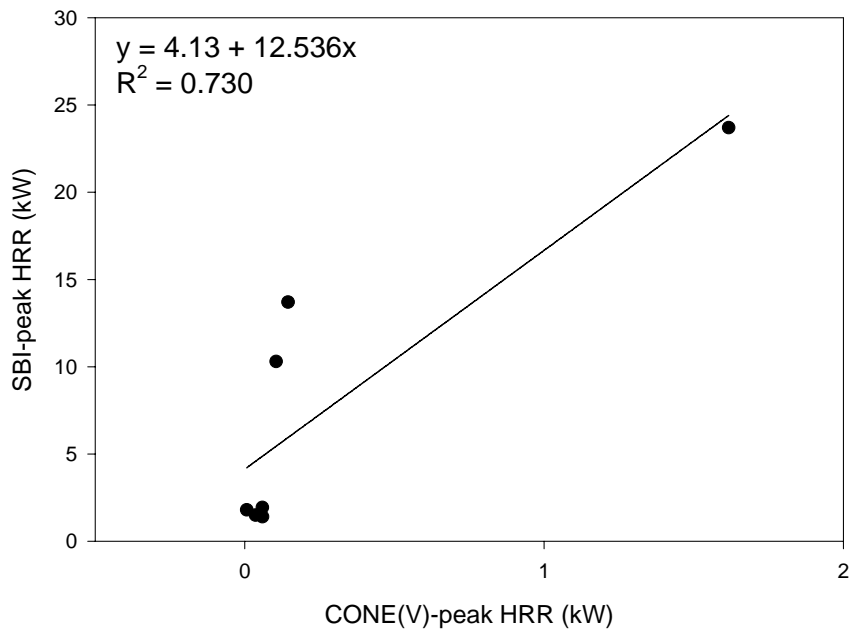


圖 3-60(b)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 垂直擺設熱釋放率峰值之關係圖

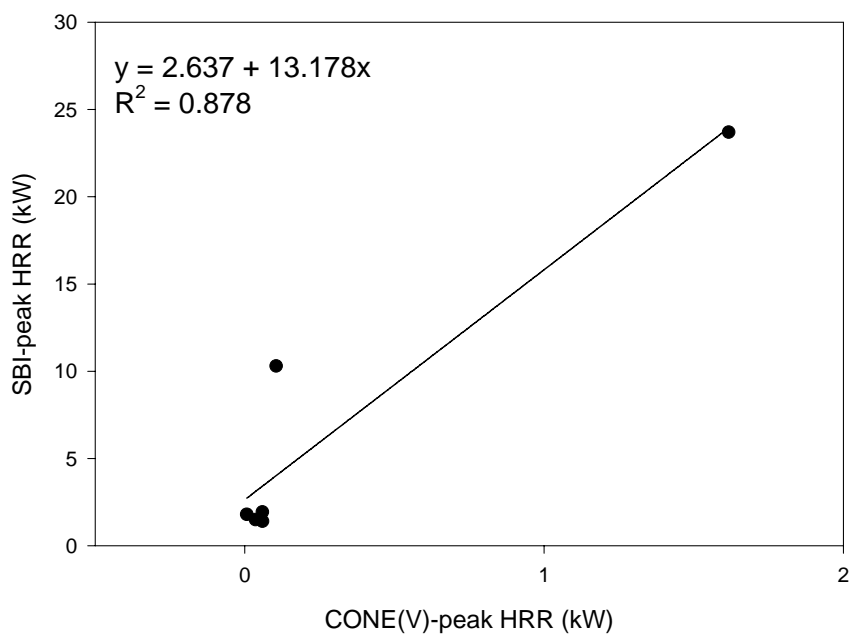


圖 3-61(a)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 水平擺設熱釋放率峰值
之關係圖

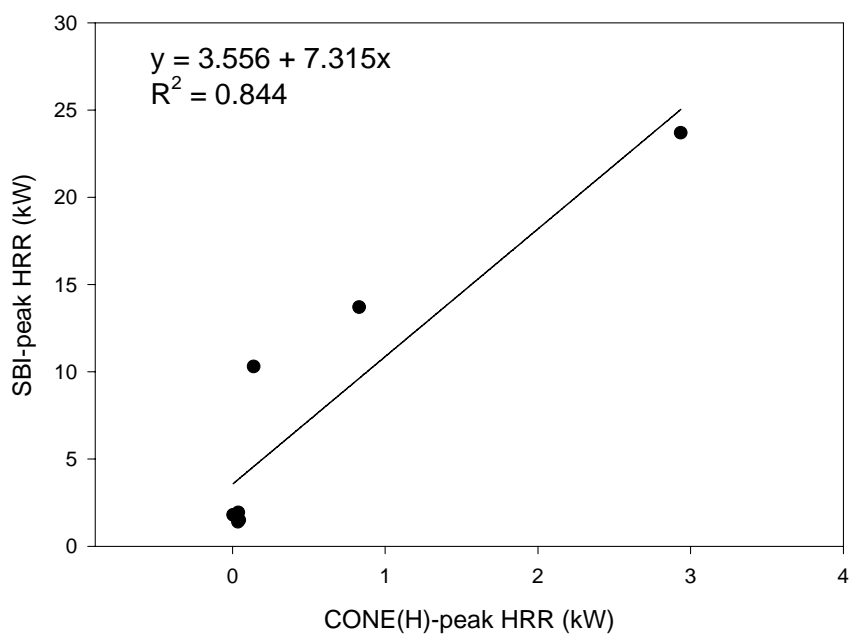


圖 3-61(b)、SBI 熱釋放率峰值與 CONE 水平擺設熱釋放率峰值
之關係圖

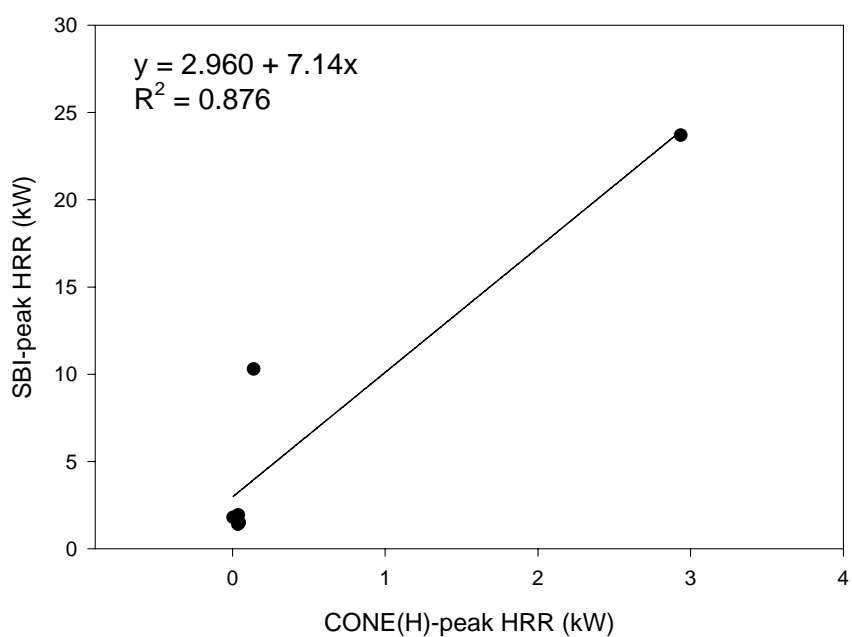


圖 3-62(a)、SBI 之火災成長率與 CONE 垂直火災成長率之關係圖

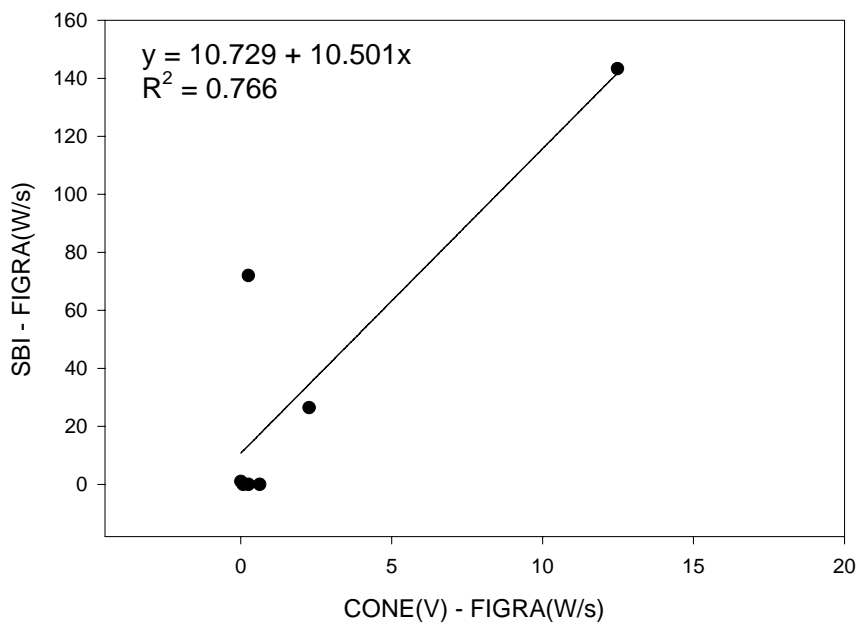


圖 3-62(b)、SBI 之火災成長率與 CONE 垂直火災成長率之關係圖

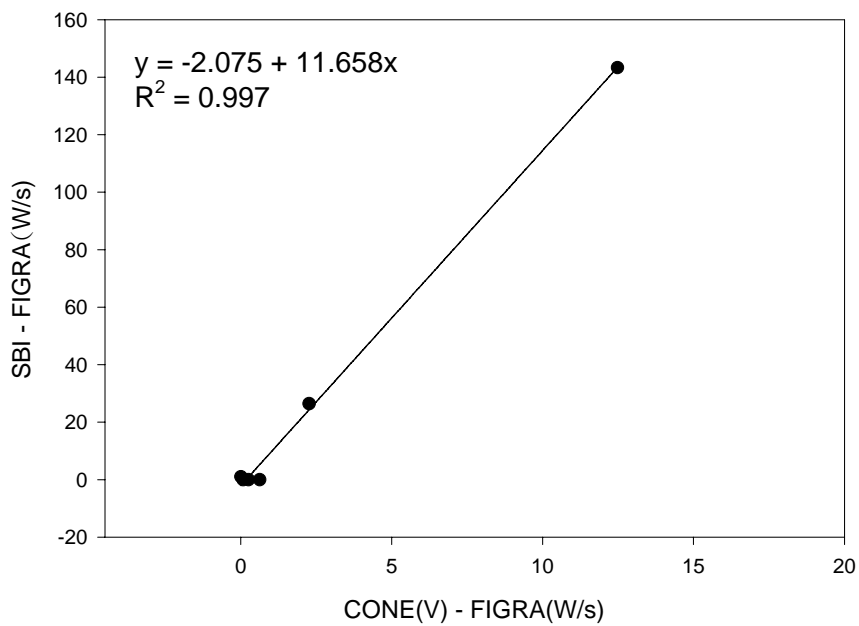


圖 3-63(a)、SBI 之火災成長率與 CONE-水平擺設之火災成長率之關係圖

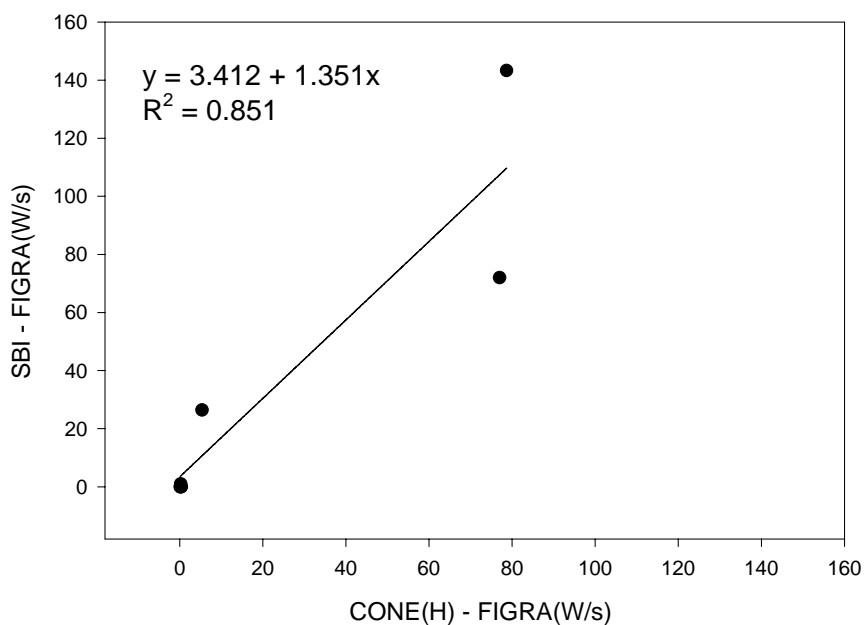


圖 3-63(b)、SBI 之火災成長率與 CONE-水平擺設之火災成長率之關係圖

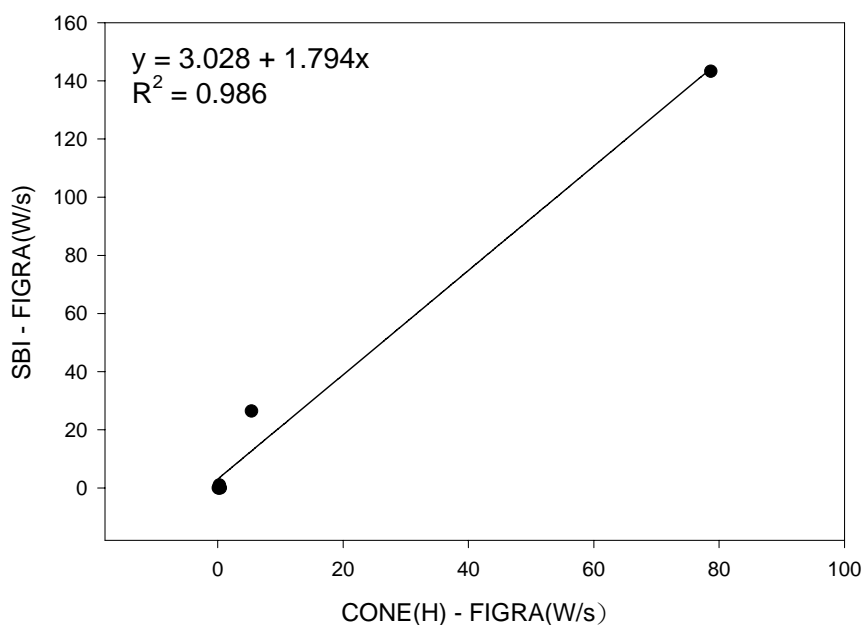
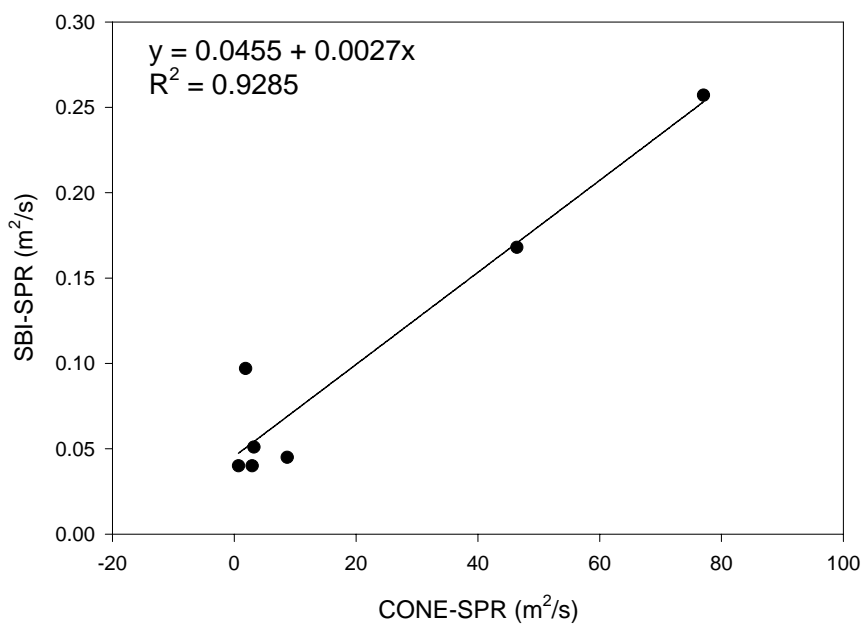


圖 3-64、SBI 與 CONE 煙產生率之關係圖



第四章 結論與建議

綜合以上結果與討論，可得到以下結論：

1. 本研究計畫已完成 15 件樣品的圓錐量熱儀測試，7 件樣品的單材耐燃測試儀測試。
2. 中尺寸實驗之 7 種材料除 3.6 mm 合板外，其餘的總熱釋放量、火災成長率、煙產生量及火焰微粒之結果均符合 SBI 測試的最高等級，即歐盟對建築構造物 A2/B 級；而 3.6 mm 合板符合 C 級。
3. 在圓錐量熱儀之實驗中發現，可燃材質之試體擺設方式不同會影響其點燃時間及熱釋放率，而且水平擺放之熱釋放率值有高於垂直擺放之趨勢；在不可燃之試體則影響不大。
4. 圓錐量熱儀-垂直擺設與水平擺設 180 秒平均熱釋放率相關性 R^2 為 0.950，所以其相關性是很大的。
5. 利用相同材料分別於內政部建研所與工研院進行圓錐量熱儀-水平擺設的實驗，發現材料 180 秒平均熱釋放率相關性 $R^2 = 0.903$ ，其再現性相當的高。
6. 單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀-垂直之關聯性 R^2 為 0.730 左右；而單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀-水平擺設之關聯性 R^2 為 0.844 左右，此實驗結果意味著材料在單材耐燃測試儀的燃燒情況，是比較類似於圓錐量熱儀-水平擺設。
7. 藉由實驗數據之分析，發現中尺寸與小尺寸之火災成長率的相關性比熱釋放率峰值之相關性高， $R^2 = 0.98$ 左右。
8. 由單材耐燃測試儀與圓錐量熱儀煙產生率之關係圖，可以發現兩者間之發煙情形是相當類似的。
9. 藉由本案所建立的建材測試結果，可做為未來電腦模擬之比較依據。
10. 本研究內容和目前世界先進防火研究的內容相協合，因此可以展現建築防火研究的水準。並可以作為我國未來採用單材耐燃測試儀作為建築材料防火性能測試儀器的先導性研究，開始將材料防

火性能標準趨同於全球範圍內的統一標準，以利我國在 WTO 架構下的貿易活動。

11. 根據本案的研究成果，日前已成為標準檢驗局訂定新國家標準 (CNS) 時之草案 (見附件二)。目前已在內政部建研所台南防火實驗室與中科院四所防火實驗室進行圓錐量熱儀及 SBI 實驗，建立了 Round Rubin 測試計畫的雛型，奠立良好基礎，以作為未來國內實驗室之間數據再現性的確認，以利採用新一代標準測試儀器的推廣使用。
12. 目前世界各國均努力於研發的奈米級建材、複合材料、綠建材等新式建材，建議若能輔導我國廠商於研發階段時便通過圓錐量熱儀與單材耐燃測試儀的測試，那將會非常有利於我國建材廠商進入歐美市場，進而提升建築材料工業的產業價值。
13. 由於內裝建材的種類繁多組成成份不一，所以其防火情形皆會因不同的建材而有所改變，因此建議未來可進行更多的小尺寸與中尺寸的實驗，以使資料庫更加的完整。

附錄一 執行情形回覆表

(一) 期初執行情形回覆表

項次	執行意見	意見回覆
1	期望本研究計畫之單材耐燃測試儀 (SBI) 試驗及比對分析獲得之數據結果, 對國家標準之制定更具有實質之效益及說服力, 使該國家標準除與國際相關標準接軌外, 更能符合國內相關試驗機構及業者之所需。	研究案將有關標準及實驗程序一併撰寫。(附錄二(Page104)所述)
2	本案利用 FTIR 進行煙毒試驗, 但計畫書表示該儀器分屬不同單位, 如何將試驗所獲得資料進行實驗分析。	有關利用 FTIR 進行煙毒試驗, 可能採用在中科院試驗所獲得之氣體抽出放入袋後送至工研院進行實驗分析。
3	在進行比對實驗前應先就設備、材料等訂定一致性條件與程序以減少設備、材料及人為差異。	遵照辦理, 如附錄二 SBI 之設備及實驗程序之介紹(Page 104)、表 3-1(Page 34)所述。
4	在比對實驗上實驗室僅二家, 要如何獲得實質差異性比較與分析?	在實驗校正步驟及材料相同的情形下來進行結果的比較與分析。
5	依歐洲在相同三種實驗法於多家實驗室比對結果, 三種方法在 HRR 上有較好之關係性, 但於煙量量測上關係性並不好, 本案要如何考量煙濃度之量測。	將依實驗結果進行比對, 亦可印證國內外三種實驗方法之結果是否雷同。
6	以木絲水泥板為例, 以 ISO 9705 Room test 結果 HRR 於 300KW 時才有熱釋放率產生(扣除燃燒器燃燒之 300KW), 在 SBI 僅以 25kw 要如何測得及比較?	創新建材種類繁多, 非所有材料皆有此情形, 而材料選擇將以市售材料為主, 亦可觀察實驗材料是否會有類似情況發生。
7	在煙毒性方面僅以 CONE、SBI 及 Room test 搭配 FTIR 方式進行與 ASTM E1678, NES 713 乃至 CNS 14820 之實驗法上完全不同, 其間之差異為何?宜有探討。	CONE 及 SBI 的差異將在第一年計畫中提出, 再結合第二年 Room test 差異, 進行三種實驗方法的討論。而煙毒性相關規範 ASTM E1678、NES713 及 CNS 14820 則列表表示其相關性, 如附錄四所示(Page 118)
8	依計畫名稱創新建材防火及煙毒性研究, 建議徵求國內廠商以產學合作模式協助研發出以奈米技術提昇防火性能或生產具防火性能之綠建材為主, 實驗法比對非本計畫主要事項。	遵照辦理, 實驗材料將以市售建材為主, 而各別的實驗方法亦將在期末報告中說明。如附錄二 SBI 之設備及實驗程序之介紹(Page 104)、表 3-1(Page 34)所述。

9	預期成果有關標準建議，建請參照 CNS 格式撰擬整理於附錄。	遵照辦理。如附錄二 SBI 之設備及實驗程序之介紹(Page 104)所述。
10	創新材料可結合本所相關再生建材計劃之研發成果(產品)如木質材料、污泥骨材製品。	材料方面將以市售材料為主，再生材料亦可為列入材料的選擇之一。
11	摘要部份修正建議如下： (1)第 2 行”RESPECTIVELY”一字為贅字，建議刪除。 (2)第 8 行”ASSISTANT”一字應為”ASSIST”之誤，建議修正。 (3)最後一行”HAZARDOUS CHEMICALS” 建議修正為“CHEMICALS HAZARDOUS”方合語法。	有關英文摘要係參考行政院規定之格式撰寫，若要發表論文時將改以論文格式撰寫。

(二) 期中執行情形回覆表

項次	執行意見	意見回覆
1	煙生成量除與火源有關之外，尚與離火源高度及週遭環境有關，不知SBI對煙生成量之量測標準為何，請參考。	量測標準將附於期末報告內。如附錄二 SBI 之設備及實驗程序之介紹(Page 104)所述。
2	14.5mm 合板實驗，初步結論認為水份含量太高其高熱釋放率及煙生成率會直接受到影響，建議試體最好在實驗之前，最好不要長時間置放在大氣環境下，但實際狀況是長期暴露於大氣環境中，此建議是否值得斟酌。	將在實驗完成後於期末報告中提出建議。如第四章所述(Page 98)。
3	圖表集中放在後面，與前面兩個研究報告不同，且翻閱不易，容易打斷閱讀。	遵照辦理。
4	本研究計畫對於試驗材料選用標準及來源需說明。	遵照辦理，試驗材料以市售建材為主，而來源將整理於期末報告中。如附件三所述(Page 115)。
5	期中報告書第 5 頁『協合』國際防火...建議修改為『整合』國際防火...為宜。	本計畫研究之方向用協合會比較恰當。
6	所測的材料請依歐規分級，並就原 CNS6532 級數加以標示。	CNS6532 測試並未在本研究考量之下。
7	有關歐洲建築法規對 SBI 或歐規測試分析的分級運用標示。	將蒐集相關資訊以了解其分級運用方式。
8	關於 14.5mm 合板燃燒特性之說明(期中報告 P.17)，雖然含水率會影響耐燃性，但對熱釋放率影響可能較小，是否與材料基重，阻燃劑分布量有關。	含水率、材料基重，阻燃劑分布量有關皆可能影響實驗結果。
9	期中報告書第 17 頁 3.2 初步結論表示試體含水量太高會影響實驗結果，試體進行實驗前如何前置處理(SBI 試驗規範對此並無規定)方可避免影響實驗結果，否則在進行比對實驗時影響結果。	SBI 之前置處理並無規範規定，但一般是在相對濕度 20~80%下進行。

(三) 期末執行情形回覆表

項次	執行意見	意見回覆
1	本研究案因屬比較性研究案，雖已針對不同實驗室之實驗結果進行線性回歸，求得其相關性，惟因各單位實驗結果之表格呈現方式不同，不易直接觀察出不同單位試驗結果之差異性，建議相同試驗之綜合性表單格式應統一，如：圓錐量熱儀之試驗結果表 15 (P.31) 及表 18 (P.36) 之表示法統一。另單材耐燃測試 (SBI) 中，似未例出兩實驗室間之比對結果，建議增列不同實驗室之實驗結果。	謝謝委員指導，遵照辦理，期末報告中會將相同實驗工具的實驗結果統一化；另外 SBI 方面，由於之前建研所 SBI 之氧氣分析儀壞了，所以無法進行實驗，目前剛排除，等建研所之實驗完成後，再進行不同 SBI 機台之結果比對。圓錐量熱儀之試驗結果之結果已統一整理於表 3-11(Page 45)、表 3-12(Page 47)及表 3-15(Page 52)。
2	另各名詞之表示法亦請統一，以表 15 及表 18 內之名詞為例，表 15 中「引燃 180 秒平均熱釋放率」、表 18 則為「平均 180 秒熱釋放率」；表 15 中「熱釋放率峰值」是否為表 18 中「最大之熱釋放率」；表 15 中「熱釋放率峰值時間」是否為表 18 中「點燃時間」。	謝謝委員指導，遵照辦理，期末報告中名詞統一化。如表 3-11(Page 45)、表 3-12(Page 47)及表 3-15(Page 52)。
3	建議將本研究案的測試標準明確化及一致性。	謝謝委員指導，測試標準的定訂，目前正在進行中，其會參考真實實驗來調整其測試標準的內容。如附件二所示 (Page 104)。
4	請將本次簡報的比對結果納入成果報告書。	謝謝委員指導，因為報告是一個月前所整理的，目前還有進度在執行，等建研所 SBI 的實驗完成後，再綜整呈現在期末報告中。
5	有關實驗儀器的比對，希望將使用儀器方法列出，並調整到同一水平，以避免在不同地方使用相同儀器的差異性。	謝謝委員指導，遵照辦理，圓錐量熱儀及圓錐量熱儀的標準，將整理於期末報告中(如 Page 17 所述)。差異性方面，由於不同機型會有誤差，所以建議未來相關單位制定法規時，以同一機型為主，以減小其差異性。
6	建議將建材燃燒生成物納入以後年度研究計畫，透過建材燃燒後產生的氣體分析研究，來做為製造商加入建材內藥劑的參考，以避免使用燃燒後會產生致命危害物質的藥劑。	謝謝委員指導，在煙毒性方面將以 CONE 搭配 FTIR 方式進行，觀測建材燃燒後會產生那些氣體。
7	請對有關歐盟分類等級與分類標準	謝謝委員指導，期末報告中將簡述歐

	做簡要介紹。	盟的分類標準。如表 1-1(Page 3)。
8	請說明煙生成率計算方法。	謝謝指導，煙產生率在 CONE3 才有，而 CONE2 有煙遮避係數，但需經轉換方程式才能成為煙產生率。而參考 CONE3 的說明書後發現沒有其相關的轉換方程式，所以此部份將向原廠詢問，以了解其相關性。

附件二 SBI 規範草稿內容

建築材料耐燃性試驗法-小室燃燒試驗法

Method of test for combustibility for building materials- Single burning item method

1. 適用範圍：本標準規定建築材料曝露於單一燃燒火源時，其耐燃性能試驗方法。
備考：本標準為以兩片相互垂直之試體並於底部施以火源加熱，模擬牆角發生火災之中尺度建築材料耐燃性試驗方法，以評估建築材料熱釋放、火焰延燒率、煙產生率及火焰微粒。
2. 試體：
 - 2.1 試體包含短翼及長翼兩部份，尺度如下：
 - (1) 短翼：(495±5) mm×(1500±5) mm。
 - (2) 長翼：(1000±5) mm×(1500±5) mm。
 - 2.2 試體厚度應在 200mm 以下。
 - 2.3 試體以相互垂直 90°方式置放推車上(如圖 1 所示)。
3. 試驗裝置
 - 3.1 測試房間(上視圖如圖 2 所示)
 - 3.1.1 房間內部尺度高(2.4±0.1) m，地板每邊長(3.0±0.2) m，房間牆壁構成材質應為不燃材料，如混凝土、石膏板、矽酸鈣板。
 - 3.1.2 測試房間之其中牆面，應具一寬 1.47m 以上、高 2.45m 以上開口，使試體推車順利進出房間。為方便觀察試體，兩試體背板後之牆面上各須具一面觀測窗，另為進行推車定位後之試體調整，房間應另含一對外開口部。
 - 3.1.3 試體推車定位後，試體長翼與牆距離應大於(2.1±0.1) m(如圖 2 所示)，房間之開口部除供試體推車底部空氣入口及排煙罩開口外，其餘開口總面積應為 0.05m² 以下。
 - 3.2 試體推車(如圖 1)
包含試體、試體背板及主燃燒器。試體及試體背板位置如圖 3 所示。
 - 3.3 試體背板(backing board)
試體背板應以密度(800±150) kg/m³，厚度(12±3) mm 之矽酸鈣板構成，其尺度如下：
 - (a) 短翼之背板：(570mm 以上+試體厚度)×(1500±5) mm。
 - (b) 長翼之背板：(1000±5) mm×(1500±5) mm。
 - 3.4 排煙系統：
 - 3.4.1 集煙系統
集煙系統包含集煙管(如圖 4 所示)及集煙罩(如圖 5 所示)，集煙罩長 1.45m、寬 1.25m，參照圖 5。
 - 3.4.2 排煙管道
排煙管道包含一外型為 J 型，內部直徑為 315mm 外部覆有 50mm 厚之熱阻無機織品之量測管，如圖 6 所示。
 - (1) 連接集煙罩，後接 A 段。
 - (2) 如圖 A 段，管長 500mm，後接 B 段。
 - (3) 如圖 B 段，管長 1000mm，後接 C 段。
 - (4) 如圖 C 段，一個 90°之彎管(主軸曲率半徑為 400mm)，後接 D 段。
 - (5) 如圖 D 段，一個 90°之彎管(主軸曲率半徑為 400mm)，後接 E 段。
 - (6) 如圖 E 段，管長 1625mm，內有引導葉片；引導葉片長 630mm，共有八片且厚度為 3mm，八片引導葉片排列成尺度為直徑 315mm 之圓形狀，每

片夾角互為 45° ，後接 F 段。

(7) 如圖 F 段，管長 2155mm，用於架設壓力探測器、三支熱電偶、氣體取樣管、煙量測系統，這段區域稱為一般量測區，在與 E 段連接處後 1526mm 開始架設測試及取樣用之儀器，儀器間距為 100mm，以氣流流動方向由上游往下游依序為壓力探測器、熱電偶、氣體取樣管及煙測系統，後接 G 段。

(8) 如圖 G 段，管長 500mm，後接排氣管並連接抽風機，抽風機之規格並無規定，須達到在測試條件之下，排煙系統應能連續不斷地抽出 $(0.5\sim 0.65)$ m^3/s 體積流率之氣體，其計算排氣量公式如第 4.4 節說明。

備考：固定量測管部分扣除管子部分之總質量應為 250kg。

3.4.3 排氣量

排煙系統應能保持 $(0.5\sim 0.65)$ m^3/s 之體積流率；計算公式如第 4.4 節所示。

3.5 燃燒器(如圖 7 所示)

3.5.1 主燃燒器

應安裝於推車底板上之兩試體互相垂直角落處，使用之燃料為純度 95% 以上之丙烷（主燃燒器與輔助燃燒器之丙烷質量流率須相等）。

3.5.2 輔助燃燒器

輔助燃燒器主要供校正燃燒器之熱釋放率。應安裝於推車框架上之試體垂直處對角位置處，應距地板上方處 (1.45 ± 0.005) m 或距集煙罩下方 1.0m 處。

3.6 量測裝置

3.6.1 熱電偶

應採用直徑 0.5mm 之 K 型熱電偶須插入鞘內，其尖端位置應位在軸向半徑 87 ± 5 mm 處並各成 120° 。

3.6.2 雙向皮托管 (bi-directional probe)

應連接一個使用範圍 $(0\sim 100)$ Pa，精確度 2Pa 之壓力轉換器，壓力轉換器之反應時間應在 1s 內。

3.6.3 氧氣分析儀

氧氣分析器應為順磁式 (paramagnetic type)，其量測範圍至少為 $(0\sim 21)\%$ 氧氣濃度，在每 30 分鐘之週期內，反應時間應為 12 秒以下，氧氣分析儀之雜訊及漂移應 100ppm 以下，分析器輸出至資料擷取系統之最大分辨率值應為 100ppm。

3.6.4 二氧化碳分析儀

二氧化碳分析儀應為 IR 式 (IR type)，其量測範圍至少為 $(0\sim 10)\%$ 二氧化碳濃度，分析儀之精確度應有全比例 1% 以上，在每 30 分鐘之週期內，反應時間應為 12 秒以下，分析儀之雜訊及漂移應 100ppm 以下，分析儀輸出至資料擷取系統之最大分辨率值應為 100ppm。

3.6.5 排氣管道

應具邊管 (內直徑為 45mm 之圓形管) 並與水平方向垂直，位置在排氣管之縱軸上。光學系統架設在一個可彎曲之邊管上，光學系統採用白光形式 (white light type)，規定如下：

(1) 燈泡應為光亮白熱絲形式，可在溫度 2900 ± 100 K 條件下操作，供給燈泡之直流電穩定範圍應在 0.5%。

(2) 透鏡系統應排列於與光桿平行處，直徑 20mm 以上，光電管孔徑應該置於透鏡之前方焦點上，直徑應為 d ，焦距選擇為 f 透鏡且 d/f 應為 0.04 以下。

3.6.6 其他設備

相對濕度針：測試實驗環境之相對濕度。

4. 試驗程序

4.1 基本預備工作

4.1.1 檢查控制盤乾燥劑，如粉體為白色時須更換乾燥劑。

4.1.2 排出冷凝器 (cold trap) 分離室內之積水，冷凝器工作溫度為 $(0\sim 4)^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.3 檢查氣體過濾器 (glass filter)，變黑時須更換。

4.1.4 設定排氣流量在 $(0.5\sim 0.65)$ m^3/s 之間。

4.2 設備校正工作

- 4.2.1 啟動機櫃及丙烷控制器之電源。
- 4.2.2 燃燒室內之相對濕度校正
開啓冷凝器，將燃燒室內部水蒸氣冷卻成水集中於分離室，其相對濕度介於(20~80)%之間。
- 4.2.3 壓差計(differential pressure transducer)及丙烷流量計之校正(僅校正零值)
在抽風機及丙烷氣瓶未開啓之情形下，壓力差及丙烷流量之值為零。
- 4.2.4 啟動抽風機，設定氣體常溫流量在(0.5~0.65)m³/s。
- 4.2.5 氧氣分析儀校正
打開氮氣氣體鋼瓶維持壓力 10.34 kPa，之後開啟氮氣鋼瓶氣閥，使氮氣進入排氣系統中，5 分鐘後，進行氧氣之零點校正，完畢後關閉氮氣鋼瓶閥；抽大氣中之空氣，流通約 5 分鐘後，進行氧氣之全幅校正(full Calibration)，測濃度應 20.95% (大氣中之氧含量)。
- 4.2.6 CO/CO₂ 分析儀之校正
注入氮氣約 5 分鐘後，進行 CO/CO₂ 之零點校正，完畢後關閉氮氣鋼瓶閥；打開 CO/CO₂ 標準氣體鋼瓶維持壓力 10.34 kPa，再打開輸送 CO/CO₂ 標準氣之鋼瓶之氣體閥，使標準氣體進入排氣系統，流通約 5 分鐘，進行 CO/CO₂ 之全幅校正(full Calibration)，測得濃度應為氣體鋼瓶上 CO/CO₂ 之含量。
- 4.2.7 煙濃度校正
光學系統(光源種類為白光或雷射光)未啟動電源前煙濃度為 0%，電源啟動後煙濃度為 100%。
- 4.2.8 確認 3 支熱電偶誤差值為 4°C 以下。
- 4.2.9 以上校正步驟完成後，即可進行試驗。
- 4.3 加熱試驗
- 4.3.1 打開丙烷鋼瓶，壓力應為(3~4) bar，並確定抽風機流量為(0.5~0.65) m³/s。
- 4.3.2 記錄試驗環境之相對濕度。
- 4.3.3 從 t=(0~120)s 時，不供應丙烷氣體，期間內，收集試驗環境之資料(氧氣、二氧化碳及一氧化碳之值)。
- 4.3.4 從 t=(120~300)s，供應丙烷質量流率為(647±50)mg/s，輔助燃燒器產生火焰，供給約 30kW 之熱量；測量 180 秒為熱釋放率之基準線，此基準線為校正主燃燒器熱釋放率之依據。
- 4.3.5 從 t=(300~1560)s，丙烷供應之質量流率為(647±50)mg/s，主燃燒器產生火焰，開始燃燒試體；主燃燒器產生火焰之同時，輔助燃燒器將自動停止供應丙烷；t=1560s 時試驗停止。
- 4.3.6 試驗停止後，須立刻將燃燒室之門打開將試體推車推出，使新鮮空氣進入燃燒室以利進行實驗前及實驗後環境資料比對；若試體推車上之試體存有火焰或餘焰則用水撲滅。
- 4.3.7 從(0~1560)s 之間，電腦須自行記錄資料如：引燃時間、熱釋放、火焰延燒率、煙產生率等。
- 4.3.8 室內溫度降至常溫後，即可進行下一組實驗。
- 4.4 計算
- 4.4.1 計算公式為：

$$HRR_{total}(t) = E_{o_2} \times V_{298}(t) \times X_{a_{o_2}} \times \left(\frac{\phi(t)}{1 + 0.105\phi(t)} \right)$$

式中：

$HRR_{total}(t)$ = 試體及燃燒器之總熱釋放率，單位：kW。

E_{O_2} = 在溫度 298K 下，消耗每單位體積氧氣所產生之熱釋放值，其值為 17.2 kJ/m³。

$V_{298}(t)$ = 在一般溫度 298K 時，排氣系統之體積流率，單位為[m³/s]。

$X_{a_{o_2}}$ = 大氣中(包含水蒸氣)之氧氣莫耳分率。

$\phi(t)$ = 氧氣消耗因子。

4.4.2 排氣量計算 $V_{298}(t)$

$$V_{298} = c \cdot A \cdot \frac{k_t}{k_\rho} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p(t)}{T_{ms}(t)}}$$

式中

$V_{298}(t)$ = 在常態標準 298K 下，排氣系統之體積流率，單位為 $[m^3/s]$ 。

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot T_0}{\rho_0}} = 22.4, \text{ 單位為 } \sqrt{\frac{K \cdot m^3}{kg}}$$

A = 在一般量測區之排氣管面積，單位為 m^2 。

k_t = 流場因子，此為無因次。

k_ρ = 雙向皮托管之雷諾修正係數，取 1.08，此為無因次。

$\Delta p(t)$ = 壓力差，單位為 Pa。

$T_{ms}(t)$ = 在一般量測段之溫度，單位為 K。

5. 結果紀錄

- 5.1 試體防火性能由試驗數據判定之，氧氣濃度、二氧化碳濃度、壓力及煙濃度以每 3s 之平均值表示。
- 5.2 安裝於排氣管道內之熱電偶，應提供試體燃燒之溫度資訊。

6. 性能判定

建築物材料之防火性能區分為四個等級，如表 1 所示。

表 1 防火性能判定基準

分類等級	性能分類等級	次分類等級
1	FIGRA ≤ 120 W/s LFS 未達試體邊界 THR ₆₀₀ ≤ 7.5 MJ	煙產生 火焰微粒
2	FIGRA ≤ 250 W/s LFS 未達試體邊界 THR ₆₀₀ ≤ 15 MJ	煙產生 火焰微粒
3	FIGRA ≤ 750 W/s	煙產生 火焰微粒
4	FIGRA > 750 W/s	煙產生 火焰微粒

其中：

(1) FIGRA：火災成長指數。FIGRA = $(\frac{\text{材料之最高熱釋放率}}{\text{最高熱釋放率發生之時間}}) \times 1000$

(2) LFS：於長翼試體之水平延燒長度。

(3) THR₆₀₀：300~900s 之總熱釋放量。

(4) 煙生成指數：SMOGR = (煙生成最大量之 60 秒平均/其發生時間) × 10000；TSP(Total Smoke Production) 即為在 (300~600) s 測試時間內之煙總量

s1 = SMOGRA(煙產生率) ≤ 30m²/s² 且 TSP_{600s}(300~900 秒之總煙量) ≤ 50m²；

s2 = SMOGRA ≤ 180m²/s² 且 TSP_{600s} ≤ 200 m²；s3 = s1 或 s2 以外。

(5) 火焰微粒：d0 = 在 600 秒內測試中無火焰微粒；d1 = 在 600 秒內測試中無火焰微粒持續出現超過 10 秒。

7. 試驗報告

試驗報告須包含下列事項：

- (1) 廠商名稱、材料名稱、密度、實驗環境之相對濕度等。
- (2) 試驗結果之概要(火災成長指數、總熱釋放、煙產生率、總煙量、火焰微粒及試體等級)。
- (3) 實施試驗日期、試驗機構名稱、實驗負責人及實驗操作人姓名。

圖 1 試體與推車

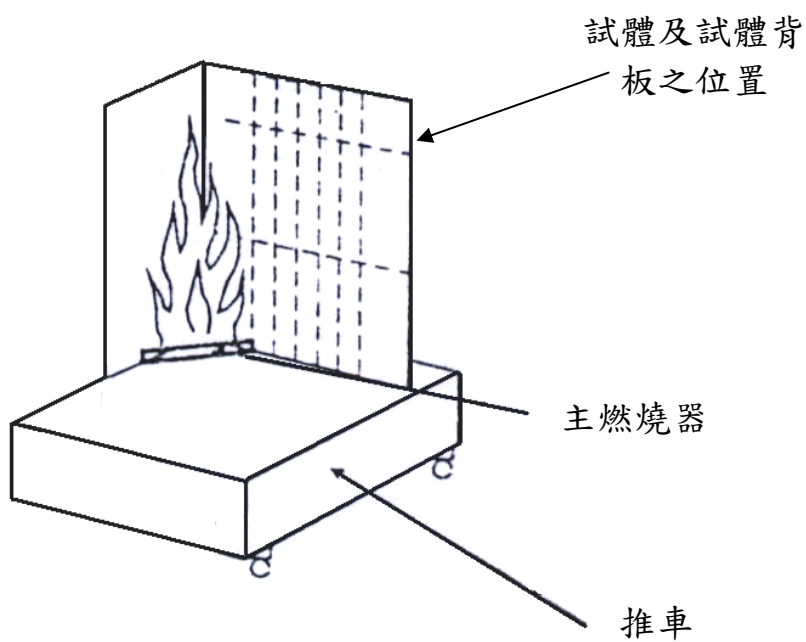
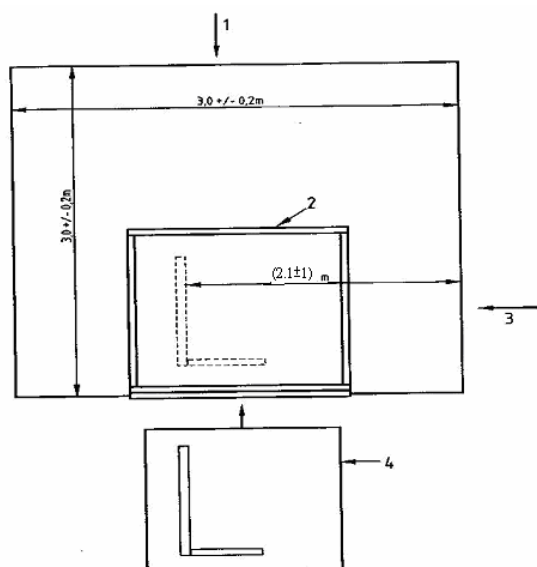


圖 2 測試房間與推車位置上視圖



1. 觀測窗
2. 推車框架
3. 觀測窗
4. 推車

圖 3 試體與背板排之列位置示意圖

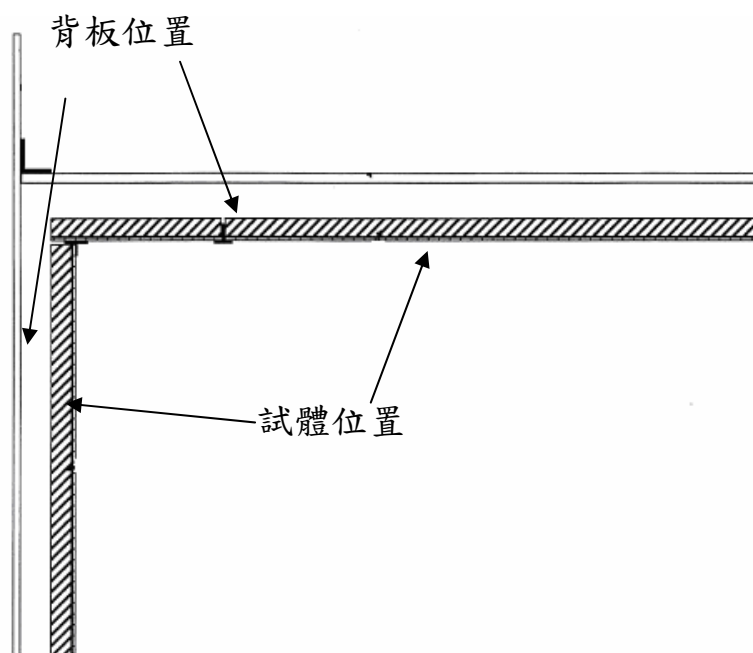


圖 4 集煙管之尺度圖

單位：mm

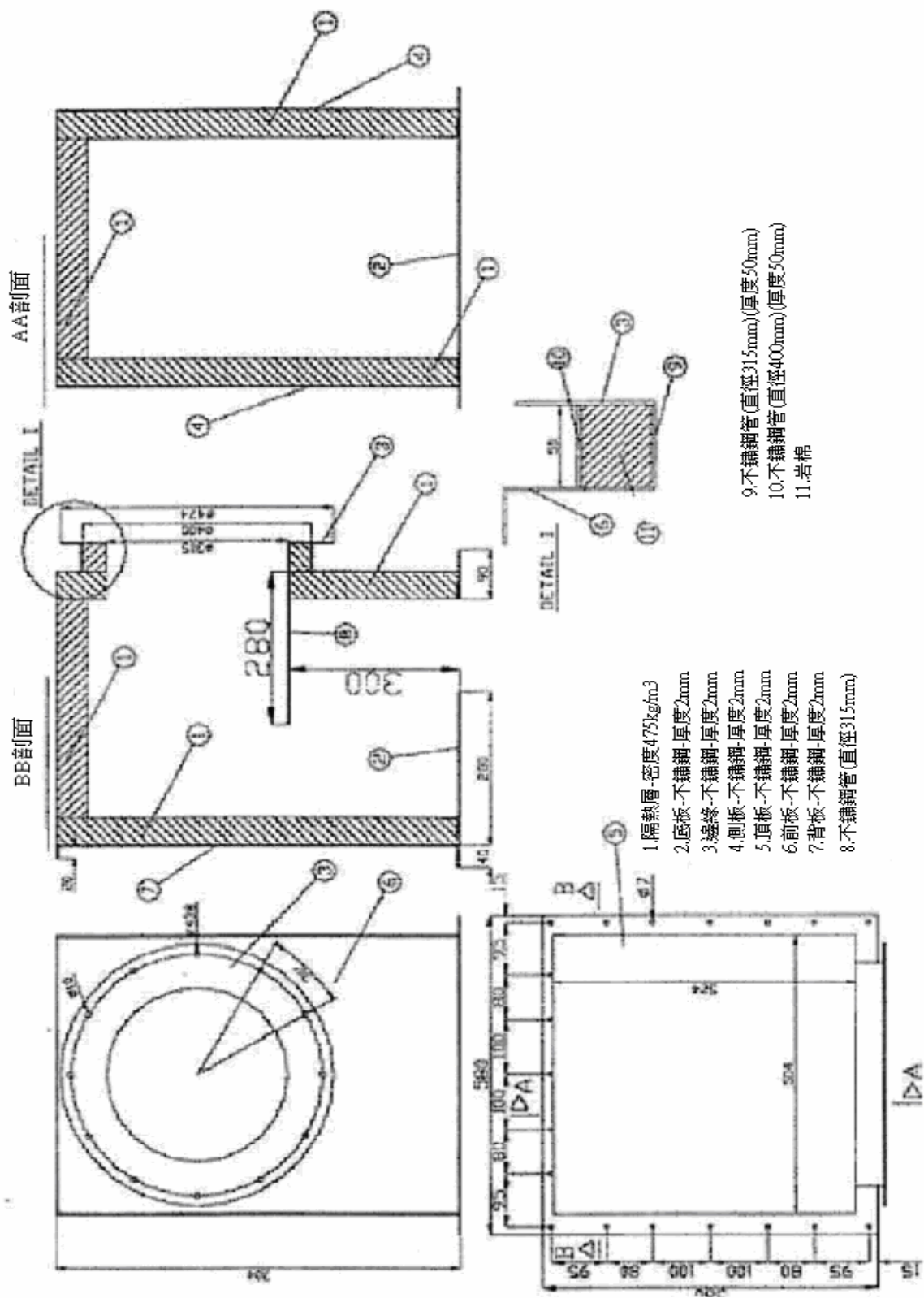


圖 5 集煙罩之尺度圖

單位：mm

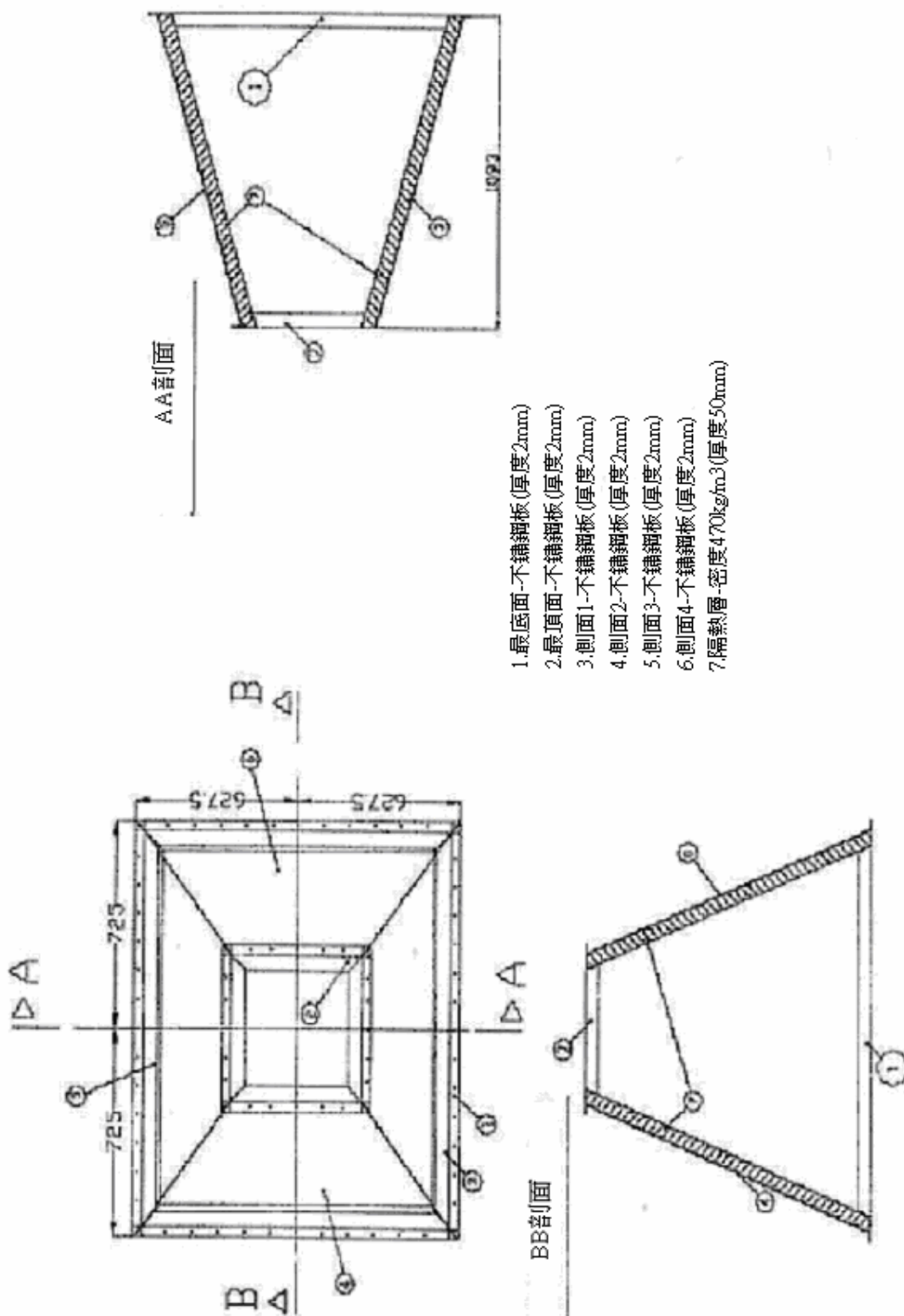
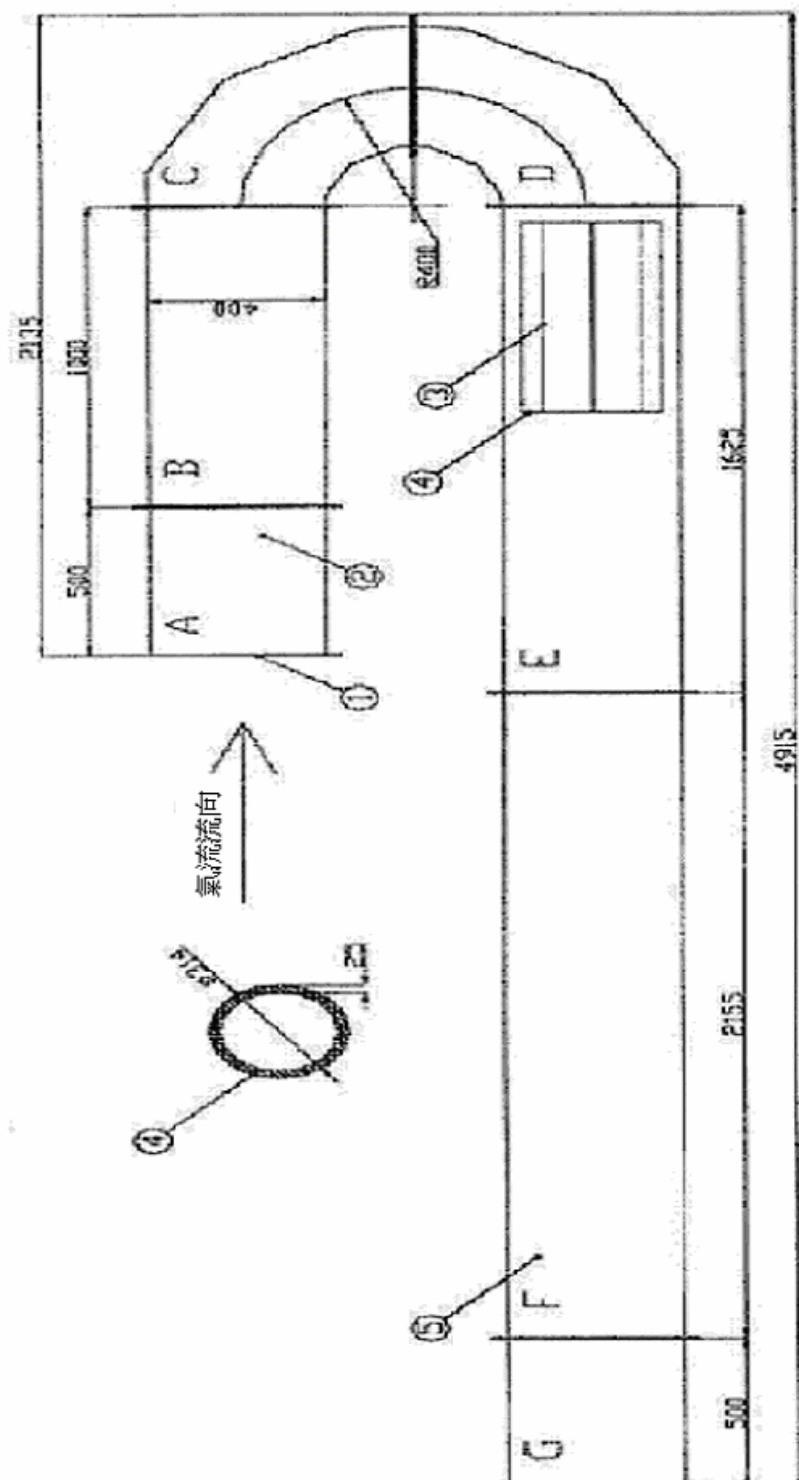


圖 6 排煙管道之尺度圖

單位：mm



1.收集管與排氣罩之相關位置

2.溫度量測

3.導向葉片

4.衰微環

5.測量段

圖 7 燃燒器之尺度圖

單位：mm

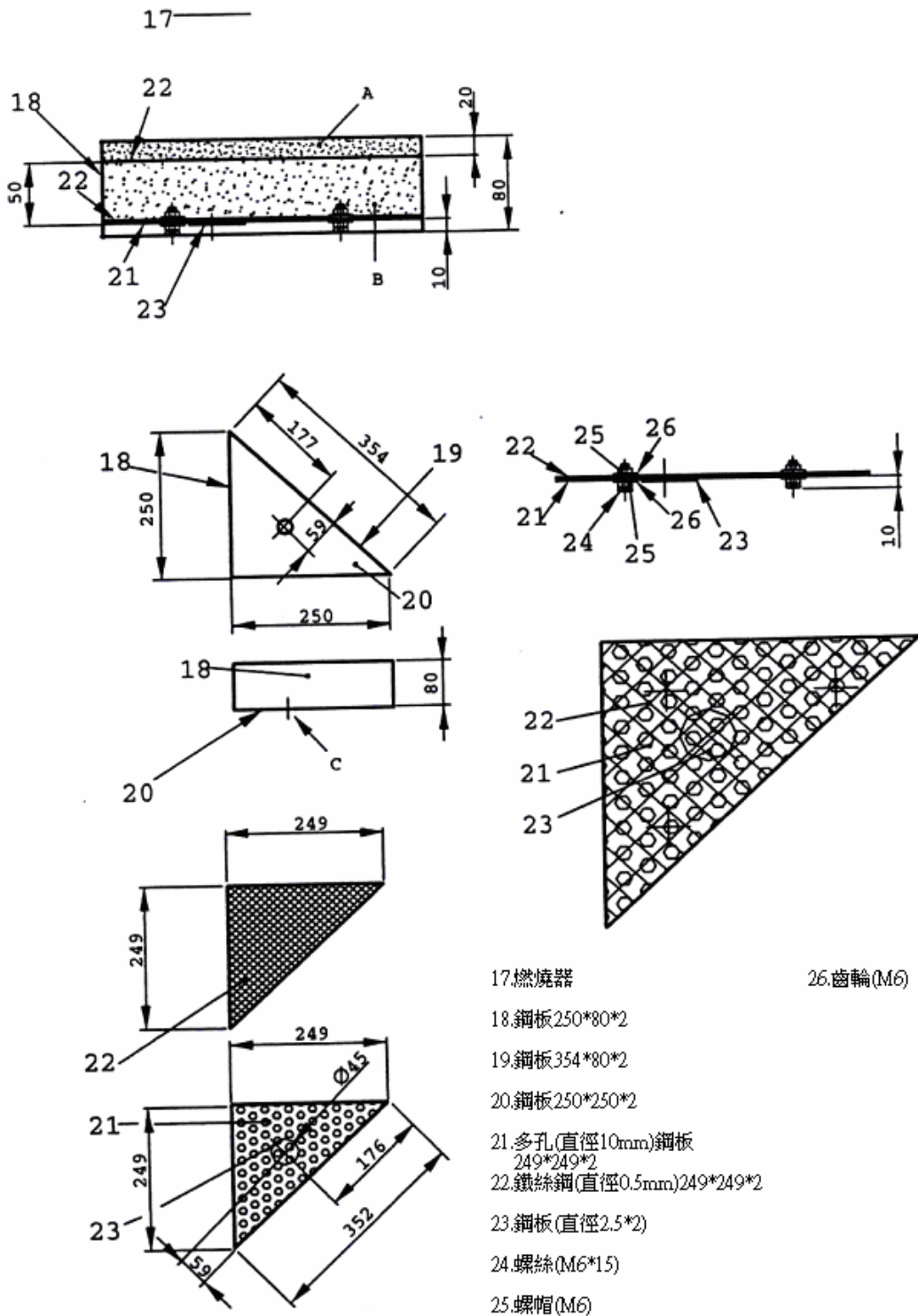
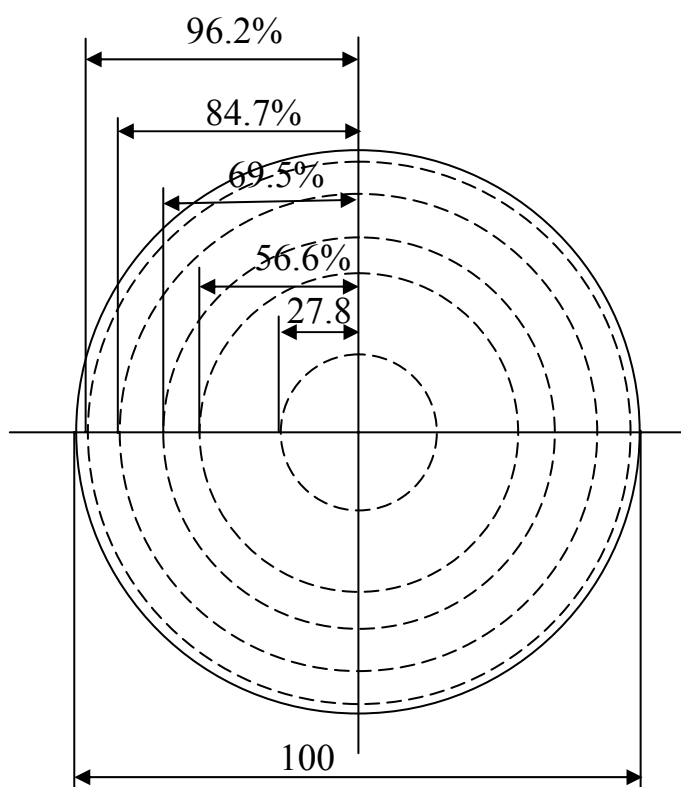


圖 8 流場校正之相對位置圖



附錄三 實驗材料之廠商名錄

編號	廠商名稱	材料名稱
M01	大昌國際股份有限公司	SIGMA 纖維水泥板
M02		三泰富士矽酸鈣板
M03	和隆興業股份有限公司	陶板塗奈米 TiO ₂
M04	三立興保溫材料實業有限公司	氧化鎂板
M05		岩綿板
M06	卜威力實業股份有限公司	14.5mm 合板
M07		3.6mm 合板
M08	和隆興業股份有限公司	陶板上奈米紅外線
M09		陶板上奈米負離子
M10	三立興保溫材料實業有限公司	玻璃纖維板
M11		石膏板
M12	永大實木地板	南美紫檀
M13		海島型南美紫檀
M14		緬甸柚木
M15		海島型緬甸柚木

附錄四 煙毒性相關規範比較表

規範編號	CNS14820	NES 713 issue3	ASTM E1678-97
名稱	固體材料燃燒所產生毒性氣體之試驗法	Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion From Small Specimens of Materials	Standard Test Method for Measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis
可測之毒性氣體	HCl(氯化氫)、HF(氫氟酸)、HCN(氫氰酸)、NO _x (氮氧化物)、SO ₂ (二氧化硫)、CO(一氧化碳)	CO ₂ 、CO、SO ₂ 、H ₂ S、HCHO、HCl、NO+NO ₂ 、NH ₃ 、HCN、HF、CH ₂ CHCN、HBr、COCl ₂ 、C ₆ H ₅ OH	CO(一氧化碳)、CO ₂ (二氧化碳)、O ₂ (氧氣)、HCN、HCl(氯化氫)、HBR(溴化氫)、HCN(氫氰酸)
測試方式	檢測管法(Gas detector tube)	檢測管法	檢測管法或活體測試(白老鼠)
試片尺寸	76mm x 76mm x 厚度 25.4mm 以下	小於 0.1g	76mm x 127mm x 厚度 50mm 以下
火源	輻射熱源 25kW/m ² + 6 管引燃燃燒器(50cm ³ /min 丙烷混合 500cm ³ /min 空氣) PS: 實驗有分有焰及無焰兩種	甲烷燃氣提供 1150 ± 50°C 的溫度	輻射熱源 50kW/m ²
試片數量	6 片	--	--
前處理	在 60±3°C (140±5°F) 下，試片預熱乾燥 24 小時，然後在室溫 23±3°C (73±5°F) 及相對濕度 50±5% 中，調節試片至平衡的恆重狀態。	室溫 23±3°C (73±5°F) 及相對濕度 50±5% 中，24 小時	室溫 23±3°C (73±5°F) 及相對濕度 50±5% 中，24 小時
測試時間	4 分鐘	30 分鐘	15 分鐘

參考書目

1. ISO 5660: “Fire tests Reaction-to-Fire-Rate of heat release from building Products”, 1995.
2. ISO 9705: “Room Fire Test in Full Scale for Surface Products”, 1993.
3. CEN/TC127 N1496: “Reaction to fire tests for buildings products – Building products excluding floorings – exposed to the thermal attack by a single burning item”, Draft, June 1999.
4. COOMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, implementing Council Directive 89/106/EEC as regards the classification of the reaction to fire performance of construction products (Text with EEA relevance) , Positive opinion of Standing Committee on Construction – 8 April 1999.
5. 王國光、嚴定萍及陳俊勳, “歐體建築構造物防火性能分類測試方法”, 中華民國第十四屆燃燒會議.
6. Thornton, W., “The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compounds”, Philosophical Magazine and J. of Science, Vol. 33, No. 196, 1917.
7. Huggett, C., “Estimation of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements”, Fire and Materials, Vol. 4, No. 2, 1980.
8. Parker, W. J., “An investigation of the Fire Environment in the ASTM E-84 Tunnel Test”, NBS Technical Note 945, 1997
9. ASTM E-906-83: “Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products”, 1983.
10. ASTM E-1354-90: “Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption”, 1990.

11. Chiun-Hsun Chen, Ling-Sheng Jang, Ming-Yuan Lei and Sam Chou, “A comparative study of combustibility and surface flammability of building materials,” Fire and Materials, Vol21,1997
12. Tsantaridis, Ostman, “Cone Calorimeter Data and Comparisons for the SBI RR Products”, NTIS Report 9812090. 1999.
13. Messerschmidt, Hees, “Influence of delay times and response times on heat release measurements”, Fire and Materials, Vol.24,2000
14. Hakkarainen, Kokkala, “Application of a One-dimensional Thermal Flame Spread Model on Predicting the Rate of Heat Release in the SBI Test ”, Fire and Materials, Vol.25,2001